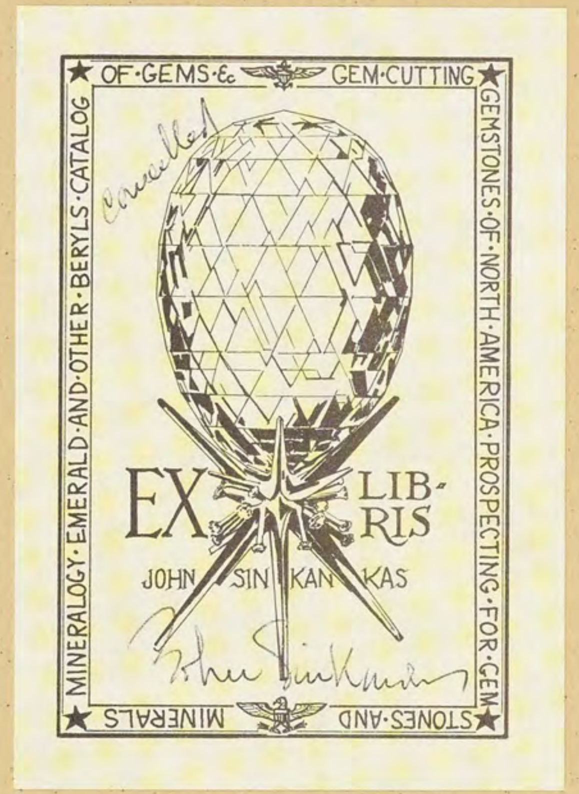

JS

1980. $240.00 (Schier. kg).

A.B. 1809-1883



BM(Nat Hist) vol 1, p. 287

MINÉRALOGIE

APPLIQUÉE

Corbeil, typ. et stér. de Crété.

#37

MINÉRALOGIE

APPLIQUÉE

DESCRIPTION DES MINÉRAUX EMPLOYÉS

DANS LES

INDUSTRIES MÉTALLURGIQUES ET MANUFACTURIÈRES

DANS LES CONSTRUCTIONS ET DANS L'ORNEMENT

PAR

AMÉDÉE BURAT

INGÉNIEUR, PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES

AVEC FIGURES INTERCALÉES DANS LE TEXTE

PARIS ET LIÉGE

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE DE NOBLET ET BAUDRY, ÉDITEURS

A Paris, 15, rue des Saints-Pères

1864

PRÉFACE

Appelé à enseigner la minéralogie à des ingénieurs qui y cherchaient uniquement les applications à l'exploitation des mines, à la métallurgie et aux constructions, j'ai tâché de dégager la partie applicable, des considérations et des observations dont le caractère est purement scientifique.

Cette séparation, dans une science dont les points de vue philosophiques sont bien souvent l'attrait principal, présente quelques difficultés, et, plus d'une fois, nous avons dû nous laisser guider par l'intérêt que l'ensemble de nos auditeurs prenait à telle ou telle question, intérêt presque toujours déterminé par le pressentiment de l'application.

J'ai constamment suivi dans l'enseignement, les méthodes et les classifications adoptées par notre éminent minéralogiste Dufrénoy, qui, plus que tout autre, a dirigé l'étude dans le sens pratique.

C'est à l'amitié que me portait Dufrénoy que je dois le goût de la minéralogie, et souvent je me suis entretenu avec lui de la nécessité de réduire l'enseignement destiné aux ingénieurs aux principes et notions applicables et utiles.

Pour cela, il fallait d'abord réduire au strict nécessaire les considérations cristallographiques, en conservant cependant toutes celles qui servent de base à l'étude et à la détermination des espèces minérales; il fallait écarter de la description des espèces celles qui sont à la fois rares et sans usage, et qu'on ne peut rencontrer, par conséquent, que dans les collections.

Je réalise aujourd'hui cette pensée, en publiant un traité de minéralogie appliquée, dégagé de toute prétention scientifique et destiné uniquement à faciliter aux ingénieurs l'accès de l'étude des minéraux. J'ai tâché de préciser autant que possible les caractères des espèces, en restant concis et en mettant à profit les progrès de la gravure, pour exprimer par le dessin une partie de ces caractères. Ces dessins ont été faits avec beaucoup de soin par M. Clerget, non pas sur des minéraux rares et exceptionnels, mais sur les échantillons de collections particulières.

La haute position scientifique de Dufrénoy ne lui aurait pas permis de publier un traité de minéralogie ainsi réduit : souvent guidé par le souvenir de ses leçons et de ses conversations, qu'il me soit permis, cependant, de le dédier à sa mémoire toujours conservée avec l'affection la plus vive.

MINÉRALOGIE APPLIQUÉE

CHAPITRE PREMIER

DISTINCTION ET GISEMENT DES MINÉRAUX

La surface du globe terrestre est de 5,098,857 myriamètres carrés, et les trois quarts de cette surface sont couverts par les eaux de la mer, qui empêchent d'étudier la composition des roches sous-jacentes. L'autre quart, soit environ 1,200,000 myriamètres carrés, forme les continents et les îles, surélevés au-dessus du niveau des eaux.

Bien que la plus grande partie des terres émergées, qui constituent les régions plus ou moins habitables du globe, se trouve dans l'hémisphère boréal, les îles qui s'élèvent au-dessus du niveau des mers les plus vastes, la répartition complexe et découpée des continents, permettent de penser que l'étude du sol de ces îles et de ces continents, nous donne une idée exacte de la composition de l'écorce terrestre.

Le premier coup d'œil jeté sur les roches qui constituent les continents et les îles, nous indique qu'elles sont composées de minéraux assez variés.

Cette variété des minéraux se manifeste par leurs diverses colorations, par des différences de dureté et de pesanteur spécifique; elle est confirmée par les usages différents auxquels ils sont appliqués, usages résultant de propriétés qui ont été découvertes bien avant que l'analyse chimique vînt en expliquer lesmotifs.

Ainsi, les calcaires sont employés non-seulement comme roches de construction, mais aussi comme pierres à chaux; les

gypses sont employés pour la fabrication du plâtre ; les argiles, pour la fabrication des briques, des tuiles, et pour les arts céramiques ; les silex sont utilisés comme pierres meulières, pierres à feu, et les grès et sables siliceux comme pavés ou sables de verreries. Indépendamment de tous ces minéraux ou roches qui existent par exemple dans le bassin de Paris, et sont employés dans les constructions ou dans l'industrie, nous voyons transporter de loin les granites, les porphyres, les marbres de toutes couleurs, les schistes bitumineux, les combustibles minéraux, etc...

Dans beaucoup de contrées on exploite les minerais qui servent de base aux fabrications métallurgiques. Enfin, pour l'ornement et la joaillerie, on recherche une foule de minéraux plus ou moins rares qui sont l'objet d'un commerce important, auquel concourent les pays les plus éloignés; tels sont le lapis, l'émeraude, les corindons, la topaze, le diamant, etc...

La diversité de propriétés et d'usages des minéraux tous directement empruntés au sol, suffit pour démontrer les différences de leur composition ; mais cette diversité n'est pas aussi grande que sembleraient l'indiquer leurs nombreuses variations d'aspect; dans les contrées les plus éloignées les unes des autres, on retrouve les mêmes minéraux, les mêmes roches, avec de tels caractères d'identité qu'il n'est pas toujours possible de distinguer la provenance d'échantillons de substances communes, empruntés aux cinq parties du globe.

Une étude assez rapide permet de constater qu'un petit nombre d'espèces minérales forment les roches les plus répandues, et que les autres sont des substances accidentelles qui se retrouvent partout avec des caractères identiques.

La **minéralogie** a pour but l'étude de tous les minéraux qui se trouvent dans les parties accessibles du globe terrestre, soit en grandes masses comme roche constituante, soit comme substances accidentelles; elle résume la spécification de leurs caractères physiques, de telle sorte que chaque espèce puisse être reconnue par la simple inspection de ces caractères.

Lorsqu'on jette un premier coup d'œil sur une collection mi-

néralogique complète, comme celle du Jardin des Plantes ou de l'École des Mines de Paris, on est étonné de l'énorme quantité d'échantillons qui s'y trouvent réunis et de la nomenclature complexe employée pour les classer et les désigner. En général, ce premier examen n'engage pas à l'étude, et pourtant, la complication n'est qu'apparente.

Chaque espèce minérale est susceptible de présenter des variétés nombreuses, qui ne diffèrent entre elles que par quelques-uns des caractères extérieurs, tels que l'état d'agrégation ou les couleurs; une première étude, en permettant de reconnaître l'espèce, malgré ces variations d'apparence, fera disparaître les difficultés qui résultent du grand nombre.

Prenons pour exemple les marbres; ce sont des calcaires compactes ou cristallins, diversement colorés. Quelle variété de marbres, blancs, gris ou noirs, jaunes, rouges, verts, bariolés; une collection pourrait en réunir un nombre considérable d'échantillons tous différents, et pourtant, il est facile de reconnaître le marbre, à sa texture, à sa densité et à sa dureté; les ouvriers qui l'exploitent ou le travaillent ne s'y tromperont jamais. Il en est de même d'un très-grand nombre d'espèces minérales, susceptibles d'apparences très-diverses, mais conservant, malgré cette diversité, les caractères essentiels qui permettent de les reconnaître.

Le nombre des espèces minérales bien constatées ne dépasse pas aujourd'hui cinq cents. Mais, dans ce nombre considérable, lorsqu'on veut se borner à étudier la minéralogie utile et pratique, on peut écarter plus de la moitié des espèces comme substances très-rares et exceptionnelles, qu'on n'est guère exposé à rencontrer ailleurs que dans les collections.

Sous le rapport de l'importance et de l'utilité pratique, les espèces minérales peuvent être divisées en trois classes distinctes : les minéraux *abondants*, les minéraux *accidentels* et les minéraux *rares*.

1° Les minéraux abondants, qui peuvent être considérés comme parties constituantes de l'écorce terrestre, sont ceux qui forment les roches.

2° Les minéraux accidentels se trouvent en gîtes subordonnés, tels que filons, veines ou amas; espèces disséminées par conséquent dans les roches, mais assez fréquentes pour qu'on puisse les rechercher et les utiliser. Les minerais employés pour fabriquer les métaux usuels font partie de cette classe.

3° Parmi les minéraux rares, quelques-uns doivent être décrits, soit parce qu'on les recherche malgré leur rareté, comme par exemple les pierres gemmes; soit parce qu'ils présentent un intérêt scientifique qui facilite l'étude des deux classes précédentes.

Les espèces qui forment la première classe sont au nombre de trente à quarante; celles de la seconde peuvent être évaluées à une centaine; en portant à trente le nombre des espèces de la troisième classe qui peuvent présenter de l'intérêt, on arrive à un total de cent soixante à cent soixante-dix espèces minérales; nombre qui se réduit à cent cinquante, si l'on supprime les minerais des métaux rares.

Les substances minérales qu'il s'agit d'étudier, comprenant d'ailleurs toutes celles qui présentent de la manière la plus nette les caractères physiques qui servent à déterminer les espèces, la minéralogie ainsi réduite forme des séries complètes et méthodiques, dans lesquelles les substances rares et exceptionnelles pourraient être intercalées, sans rompre ni modifier les classifications.

Le but pratique de la minéralogie est de reconnaître les minéraux par la simple inspection de leurs caractères physiques et d'en conclure leur composition chimique.

L'analyse des caractères physiques conduit ainsi à la connaissance des éléments constituants d'un minéral, et par suite à l'appréciation de ses applications possibles. S'agit-il d'une roche, on pourra indiquer quel peut être son emploi. S'agit-il d'un minerai, on saura quels sont les métaux qu'on peut en extraire. Enfin, si la substance est rare et recherchée, on saura en apprécier la valeur.

Que l'on suppose avoir à sa disposition la série des cent cin-

quante espèces minérales utiles, chacune étant représentée par une série d'échantillons qui comprendraient les variétés principales, le tout comprenant environ quinze cents échantillons, nombre très-suffisant pour représenter toute la série des minéraux ; supposons ces échantillons mélangés ensemble, leur détermination et leur classification; représenteront l'étude complète de la minéralogie.

Déterminer et classer ne doivent former pour ainsi dire qu'une même opération. Il sera donc essentiel d'arrêter à l'avance les bases de la classification; puis on examinera successivement et méthodiquement les caractères physiques de tous les échantillons de manière à grouper ensemble tous ceux qui dérivent de la même espèce; enfin, on classera les espèces elles-mêmes suivant la méthode adoptée.

Or les méthodes de classification sont au nombre de trois.

La première consisterait à classer les minéraux précisément d'après les caractères les plus essentiels qui ont servi à les reconnaître; c'est d'après cette méthode que M. Necker a procédé, en prenant les formes cristallines comme point de départ. Il assimilait ainsi la minéralogie aux autres sciences naturelles, pour lesquelles les caractères extérieurs servent exclusivement à classer les espèces.

Cette méthode n'a pas eu de succès et n'en pouvait avoir, parce que les minéraux ne se présentent qu'exceptionnellement avec des formes cristallines. Les propriétés physiques ne sont point constantes pour les minéraux, c'est leur réunion qui est caractéristique, et l'on ne peut pas plus les classer d'après leurs formes cristallines, que d'après leur couleur qui peut être altérée par suite de mélanges, que d'après leur dureté ou leur densité qui peuvent aussi se trouver modifiées par les divers états d'agrégation.

Il a donc fallu revenir aux classifications chimiques, les seules rationnelles, puisque dans les minéraux, c'est précisément la composition chimique qui présente l'intérêt principal et que l'on cherche à déterminer par l'étude des caractères extérieurs. Ici, on peut encore procéder par deux méthodes diffé-

rentes : classer ensemble tous les minéraux dont les bases sont communes, ou tous ceux qui ont le même acide.

Dans les traités de minéralogie dont le point de vue est surtout scientifique, comme ceux de MM. Beudant, Delafosse, Des-Cloizeaux, la classification par les acides a été préférée, parce que les séries que l'on obtient ainsi ont, dans plusieurs cas, des caractères cristallographiques très-rapprochés; mais lorsqu'on étudie les minéraux sous les rapports utiles et pratiques, l'élément classificateur doit plutôt être la base; c'est ainsi qu'ont procédé Haüy et Dufrenoy.

La nature n'a-t-elle pas réuni dans les mêmes gîtes tous les minéraux à base de cuivre, de plomb, de zinc, de fer, de nickel, de cobalt, etc.? Les bases terreuses se présentent aussi associées dans les mêmes gîtes à des acides différents. En classant les minéraux d'après les bases, on obéit donc à une loi naturelle et l'on groupe ensemble les minéraux que le sol nous présente réunis. Une seule exception existe.

La silice, si abondante sur l'écorce du globe, qu'elle forme seule ou combinée plus de la moitié des masses minérales, joue le rôle d'acide dans un grand nombre de minéraux dont les bases sont multiples. Parmi ces bases multiples et quelquefois variables par les substitutions de l'isomorphisme, il serait souvent difficile d'en choisir une de préférence pour classer le minéral.

Ce qu'il y a de mieux à faire en présence de cette difficulté, c'est encore de suivre les groupements indiqués par la nature. On trouve le plus souvent réunis dans les mêmes roches et dans les mêmes gîtes, les silicates qui ont des bases communes ; il y a donc lieu de réunir les silicates en une famille spéciale et de les étudier conformément aux groupements qu'ils affectent.

En procédant ainsi et suivant toujours les groupements naturels, on donne à la minéralogie un nouvel intérêt. Cette science ne doit pas être uniquement une science de cabinet, qui ne considère que des échantillons, abstraction faite de leur provenance. Elle doit, au contraire, se préoccuper constamment du gisement des minéraux soumis à l'étude, des circonstances de

leur formation, de leur abondance ou de leur rareté et des applications utiles auxquelles ils peuvent donner lieu.

Gisement des minéraux.

Pour apprécier les circonstances et les caractères que peut présenter le gisement des minéraux, il est indispensable de se reporter aux idées théoriques relatives à leur formation.

Nous ne connaissons du globe terrestre qu'une écorce de très-faible épaisseur. Les excavations des mines les plus profondes qui pénètrent cette écorce n'ont, en effet, que de 500 à 800 mètres de profondeur maximum, ligne insignifiante lorsqu'on la compare au rayon de la terre.

Les montagnes dont les flancs sont sillonnés de vallées et de déchirures qui permettent d'étudier leur composition de la base jusqu'au sommet nous offrent des moyens d'investigation plus développés. Mais les plus hautes montagnes de l'Europe n'atteignent pas 5 000 mètres d'altitude absolue et 3 000 à 3 500 de hauteur au-dessus des contrées environnantes. Les chaînes de l'Himalaya, en Asie, et des Andes cordillères, en Amérique, nous présentent des sommets qui atteignent 7 000 mètres et au delà ; mais ces sommets ne sont guère plus élevés que les Alpes au-dessus des contrées qu'ils dominent, de telle sorte que les moyens d'étude minéralogique et géologique n'y sont pas plus favorables qu'en Europe.

Ces hauteurs de quelques milliers de mètres accessibles à nos observations sur les diverses saillies continentales, sont d'ailleurs des longueurs bien faibles comparées au rayon du globe ; c'est donc avec raison qu'en parlant de nos observations géologiques et minéralogiques on est dans l'habitude de dire qu'elles ne nous ont fait connaître que l'écorce terrestre, de peu d'épaisseur, puisqu'elle ne dépasse pas $\frac{1}{1500}$ du rayon.

Cette faible épaisseur de l'écorce terrestre nous présente cependant des éléments très-variés, plus variés probablement que les zones inférieures, ce qui tient aux phénomènes et aux réactions complexes qui se sont produits à la surface.

La surface de la terre a été mesurée en Europe et en Amérique de manière à obtenir directement les longueurs exactes d'un certain nombre de degrés, et la mesure de ces arcs a prouvé que notre globe, comme toutes les planètes dont on a pu apprécier les formes et les dimensions, était un sphéroïde de révolution. Ce sphéroïde, légèrement renflé à l'équateur et aplati vers les pôles, présente, en effet, une différence de $\frac{1}{305}$ dans la longueur de ses deux axes; sa forme est précisément celle qui résulterait du mouvement de rotation diurne auquel la terre est soumise, si elle était supposée à l'état fluide.

Cette coïncidence serait inexplicable, si l'on n'admettait pas que réellement la Terre a été fluide, fait qui se trouve confirmé par l'étude géologique de sa composition et même par certaines propriétés physiques, telles que les variations de sa température et de sa densité.

Lorsqu'on creuse le sol de quelques mètres, on trouve les roches à une température constante. Cette température varie suivant les latitudes, mais pour chaque latitude, elle donne la température moyenne du point où l'on opère; pour nos contrées tempérées, elle sera, par exemple, de 10 à 12°.

Lorsqu'on a foncé des puits profonds, on a trouvé dans toutes les contrées du globe, que la température augmentait à mesure que l'on descendait, et partout, dans les puits de mine,soit dans les trous forés à la sonde, l'augmentation est en moyenne d'un degré par 30 à 35 mètres de profondeur. A 700, 800 et 900 mètres, profondeurs qui ont été plusieurs fois atteintes, l'augmentation est donc de 23 à 26° sur la température moyenne de la contrée, et si cette loi d'augmentation graduelle continue, à 25 ou 30 000 mètres, toutes les substances qui constituent l'écorce terrestre seraient en fusion.

Ainsi le globe terrestre, autrefois à l'état de fusion, aurait été soumis à un refroidissement qui ne pourrait plus faire aujourd'hui que des progrès insensibles; l'écorce seule serait solide, et à une profondeur de 25 à 30 kilomètres, les roches seraient encore à l'état de fluidité ignée.

Ces indications ne seraient peut-être pas encore suffisamment

concluantes, si l'étude des phénomènes géologiques ne venait les appuyer. Plus de deux cents bouches volcaniques actives et permanentes, réparties dans toutes les contrées du globe, représentent des communications établies entre la surface et l'intérieur. Ces volcans rejettent des roches fondues, laves qui se dégagent de dessous l'écorce solide et qui attestent directement l'état de fluidité intérieure. Partout les éruptions volcaniques sont identiques dans leurs détails et dans leurs produits; identité qui démontre leur origine commune, inhérente à l'état général de l'intérieur du globe.

Il y a plus encore : les études géologiques nous apprennent qu'à toutes les périodes du refroidissement progressif, il a existé des phénomènes volcaniques et des roches éruptives; que ces roches forment une série de plusieurs espèces distinctes et que, dans toutes les parties du globe, la série est la même. Les éruptions granitiques sont les plus anciennes, puis viennent les éruptions porphyriques et trappéennes, puis enfin celles des roches volcaniques proprement dites, comprenant la succession des trachytes, des basaltes et des laves modernes.

Ainsi chaque période du refroidissement a été marquée par des éruptions et des laves spéciales, et cette série de roches éruptives nous indique approximativement la composition des zones solides et successives qui constituent l'écorce solide. Plus une lave est moderne, plus elle a été prise à une grande profondeur.

Ici vient se placer une autre observation qui tend à démontrer encore la réalité de ces hypothèses. Les roches éruptives sont de plus en plus denses. La densité moyenne des roches de la surface n'est que de 2,50, tandis que les laves actuelles pèsent 3 ; cette augmentation est naturelle, car le globe, pris dans sa masse, possède une densité moyenne égale à 4. Les roches fluides de la partie centrale du globe sont donc encore beaucoup plus denses que celles qui nous arrivent aujourd'hui des profondeurs présumées de 30 000 mètres.

Les roches éruptives, échantillons directs de la composition de l'écorce terrestre, sont elles-mêmes composées d'une vingtaine

de minéraux distincts. Mais dès que le globe terrestre a présenté une croûte solide, les phénomènes superficiels ont donné naissance à une autre série de roches.

La masse des eaux qui, lorsque le globe était fluide, devait être maintenue dans l'atmosphère à l'état de vapeurs, se précipita sur la première surface consolidée et la couvrit probablement en entier. Ce ne fut que par le long travail de la réaction du noyau fluide contre l'écorce solide et refroidie, que les soulèvements et les éruptions firent surgir au-dessus du niveau des eaux, les masses continentales et les îles qui forment aujourd'hui les surfaces émergées. Or, ces masses successivement soulevées avaient été couvertes de dépôts sédimentaires formés par les eaux, dépôts d'autant plus épais et d'une composition d'autant plus complexe que les soulèvements sont plus modernes.

La succession des périodes géologiques a donc produit une série de dépôts sédimentaires qui nous présentent des roches stratifiées et formées, soit par l'action érosive et mécanique des eaux, soit par la précipitation chimique des substances qui s'y trouvaient dissoutes. Ces roches contiennent encore des minéraux distincts et en partie différents des premiers.

L'écorce terrestre est ainsi composée de roches qui appartiennent à l'une des deux origines, éruptive ou sédimentaire.

Les roches *éruptives* se présentent sous forme de masses, et de dykes injectés de bas en haut, de coulées superficielles ; elles sont à l'état cristallin, comme toute substance fondue et lentement refroidie, rarement à l'état vitreux.

Les roches *sédimentaires* sont stratifiées, en couches superposées et successives ; elles portent, comme les premières, dans les formes de leurs masses aussi bien que dans leur composition, les témoignages de leur origine.

La classification des minéraux serait bien simple, si elle se bornait à ceux qui constituent les roches éruptives ou sédimentaires. Mais des phénomènes mixtes sont intervenus, qui ont donné naissance au plus grand nombre des substances minérales et qui en ont singulièrement compliqué les deux séries.

Lorsque des masses éruptives, fluides ou pâteuses ; ont fait

éruption à travers l'écorce déjà solide et refroidie, en la brisant et la soulevant, il s'est produit des phénomènes complexes de réaction des roches les unes sur les autres et de nombreuses transformations minéralogiques. Des roches lithoïdes sont devenues cristallines, se sont pénétrées de minéraux nouveaux et ont formé une troisième série dite des roches *métamorphiques*.

Des cassures produites dans les terrains solides ont été remplies par des minéraux qui se sont déposés sur les parois ; une longue série d'émanations comparables à celles des cratères et des solfatares actuelles ont accumulé dans les fentes et dans les cavités, des minéraux nombreux, souvent même ont pénétré les roches en les transformant. Ces cassures remplies par des actions postérieures ont donné naissance aux *filons* et *veines*, souvent remplis de gangues lithoïdes ou cristallines, quelquefois de substances métallifères. Les cavités remplies par les mêmes actions, les pénétrations dans des roches préexistantes ont formé des amas, des gîtes irréguliers.

Ces gîtes accidentels, de faibles dimensions et de peu d'importance comparativement aux roches, renferment cependant les neuf dixièmes des minéraux connus. Ce qui leur donne une importance toute particulière, c'est que l'on y trouve la plus grande partie des minerais qui servent à fabriquer les métaux usuels, d'où leur est venue la dénomination de *gîtes métallifères*.

Les roches métamorphiques et les gîtes métallifères fournissent aux collections les échantillons cristallins et les cristaux qui servent de base principale aux études minéralogiques. Ces échantillons, souvent exceptionnels, présentent, en effet, les minéraux avec l'expression la plus complète de leurs caractères physiques ; lorsqu'on a étudié et bien apprécié ces caractères, il est plus facile de reconnaître les minéraux compactes et plus communs que présentent les autres roches.

En résumé, la description de chaque espèce minérale doit comprendre l'indication de son gisement, soit dans les roches

éruptives, sédimentaires ou métamorphiques, soit dans les gîtes accidentels en filons, veines ou amas.

On doit indiquer également les localités où l'espèce se trouve en plus grande abondance, et avec les caractères minéralogiques les plus complets.

Très-souvent, en effet, les minéraux d'une localité sont des types très-faciles à reconnaître par leurs caractères spéciaux, et l'on distinguera à première vue, non-seulement les échantillons de telle espèce minérale, mais les gîtes d'où ils proviennent. Les échantillons métallifères des mines du Hartz, de la Saxe, de la Suède, du Cornwall, du Cumberland, de la Toscane, des Alpes, de l'Oural, du Mexique, du lac Supérieur, du Brésil, etc., ont souvent des caractères distinctifs.

CHAPITRE II

CARACTÈRES PHYSIQUES DES MINÉRAUX

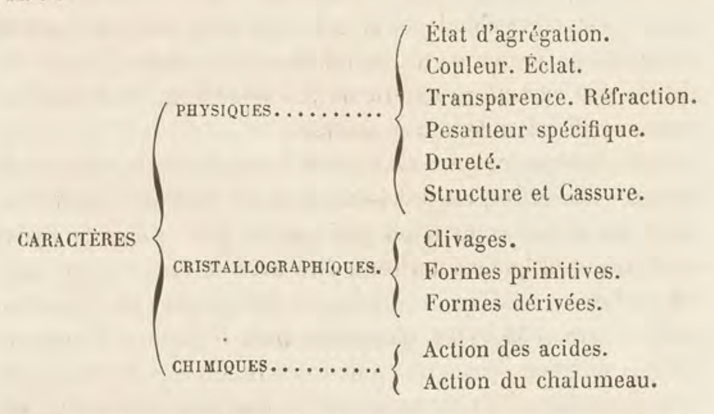
L'espèce, en minéralogie, est déterminée par la composition chimique du minéral et non par ses caractères extérieurs ou physiques, comme dans les autres sciences naturelles. La classification est donc chimique, et cela doit être, puisque l'intérêt essentiel que présente un minéral est sa composition. Le but de l'étude des caractères extérieurs des minéraux est d'arriver à cette spécification de la composition.

Cette différence, qui existe entre la minéralogie et les autres sciences naturelles, est précisément ce qui lui donne tant d'intérêt. Un simple coup d'œil jeté sur un échantillon de pyrite cuivreuse suffit pour autoriser à dire avec certitude : cette substance jaune métallique contient, sur 100 parties : 36 de soufre, 30 de cuivre et 34 de fer. L'échantillon est-il mélangé d'une certaine proportion de quartz ou de calcaire, cette proportion peut être appréciée et le titre moyen de l'échantillon sera par conséquent évalué. Il en est de même des substances lithoïdes; l'examen d'un feldspath orthose permettra d'en spécifier la composition : 65 de silice, 20 d'alumine, 15 de potasse. Il y a plus, une étude attentive des caractères minéralogiques fera distinguer le feldspath albite, c'est-à-dire à base de soude, du feldspath orthose à base de potasse.

Un pareil résultat obtenu immédiatement, sur une série nombreuse et complexe d'échantillons, alors que l'analyse d'un seul exigerait un travail de plusieurs jours, est, sans contredit, l'exemple le plus saisissant de l'utilité pratique de la minéralogie.

Cependant la détermination des espèces minérales d'après la seule inspection de leurs caractères extérieurs, exige une étude préalable de ces caractères, étude assez aride et trop souvent négligée, car il arrive souvent qu'on veut en essayer l'application avant de bien connaître les principes qui doivent la diriger. Procéder ainsi, c'est se créer de grandes difficultés ; tandis que si l'on commence par analyser successivement tous les moyens employés pour la détermination des espèces, en s'exerçant à les appliquer sur les substances qui peuvent être prises pour exemples de chacun de ces moyens, on arrive à une pratique facile, qui permet ensuite d'étudier méthodiquement les détails relatifs à chaque espèce.

Les caractères des minéraux peuvent être classés comme il suit :



L'importance pratique des trois séries de caractères distinctifs, *physiques*, *cristallographiques* ou *chimiques*, peut être ainsi appréciée :

Les caractères physiques ou extérieurs doivent suffire dans presque tous les cas pour reconnaître un minéral ; ils n'ont, il est vrai, rien de bien absolu, mais ils sont nombreux, et les combinaisons deux à deux ou trois à trois de leurs variations, suffisent dans la plupart des cas. L'usage de la loupe est d'un secours précieux pour mieux apprécier les apparences d'un minéral ; il a le double avantage de mieux accuser certains carac-

tères par le grossissement et de concentrer l'attention sur un champ restreint de l'échantillon.

Les caractères cristallographiques sont les seuls absolus. Il n'y a point d'espèce minérale de composition certaine et bien établie, si l'analyse chimique n'a précisé sur des cristaux déterminables sa composition et la formule qui peut s'en déduire. Les formes de cristaux, leurs angles et leurs clivages sont des caractères décisifs pour la plupart des espèces.

Quant aux moyens chimiques de reconnaître les espèces, on n'en fait usage que dans le cas où les autres sont insuffisants ; ils ne doivent donc être cités que lorsqu'ils sont réellement utiles et d'une application facile.

Nous suivrons, dans l'étude générale des caractères des minéraux, l'ordre précédemment indiqué par le tableau qui les résume. Ces caractères sont tellement liés, et dans certains cas tellement solidaires, qu'il est difficile de les isoler les uns des autres. Ainsi on ne peut guère examiner l'état d'agrégation d'un minéral, sans examiner en même temps sa densité, sa dureté et sa structure; cependant les considérations relatives à chacun de ces caractères ont besoin d'être étudiées isolément, non-seulement pour procéder avec ordre, mais parce qu'on se rend mieux compte de leur importance.

État d'agrégation.

Nous laissons de côté les substances gazeuses, telles que l'air atmosphérique, l'acide carbonique, l'hydrogène, etc., la plupart des substances liquides, telles que les eaux douces et les eaux salées, qui sont bien des substances minérales, mais qui sont suffisamment définies par les premières études de la chimie, pour ne considérer que les minéraux solides.

Un minéral peut être liquide, comme le mercure ou les huiles de pétrole, visqueux comme certains bitumes; cela est l'exception, et l'état normal des minéraux doit être considéré comme étant l'état solide.

Une substance solide peut d'ailleurs présenter des caractères

d'agrégation très-différents; elle sera en roche plus ou moins dure et compacte; en roche tendre, à tissu lâche et poreux; en roche friable ou même à l'état pulvérulent.

La même espèce minérale pourra présenter ces divers états, et par conséquent des apparences très-différentes ; ce qui explique la multiplicité des variétés qui encombrent les collections.

En procédant avec ordre dans l'examen de ces variétés, on voit que les substances les plus répandues ont, en général, deux états très-distincts : 1° l'état cristallin dont la cohésion est constante, ainsi que la densité et la dureté; 2° l'état lithoïde ou pierreux dont l'agrégation peut être très-variable, ainsi que la pureté. Ainsi les variétés lithoïdes d'une même espèce peuvent être compactes ou grenues avec texture lâche ou serrée, toutes ces variétés étant à la fois moins denses et moins dures que le type cristallin.

L'état cristallin non-seulement est caractérisé par le maximum de dureté et de densité que peut présenter une espèce, mais par des conditions de texture et de structure sur lesquelles on se trompe rarement. Si l'espèce n'a pas de clivages naturels, son état cristallin se reconnaît à une texture vitreuse et presque toujours à sa transparence ou tout au moins à sa translucidité sur les bords des éclats minces. Si l'espèce possède des clivages, la structure est lamelleuse, la cassure est lisse et unie dans certains sens, esquilleuse et inégale dans d'autres. Enfin, l'état cristallin se reconnaît encore aux couleurs franches et très-souvent caractéristiques qu'affectent les minéraux.

Il n'est pas jusqu'à la forme des fragments qui n'indique la distinction de l'état lithoïde et de l'état cristallin. Les fragments des minéraux lithoïdes n'ont que les formes qui peuvent résulter soit de cassures irrégulières, à surfaces inégales; soit de délits naturels dus à la stratification des roches ou à des fissures de retrait; les substances cristallines, au contraire, sont très-souvent en fragments à surfaces lisses, avec les angles spéciaux qui résultent des clivages ou plans naturels des cassures. Or, le nombre des plans de clivages, leur facilité plus ou moins grande et les angles qu'ils font entre eux sont, ainsi qu'on le verra,

des caractères décisifs pour un grand nombre d'espèces ; tandis que pour d'autres, l'absence de clivages et les cassures vitreuses ou conchoïdales qui en résultent, ont la même valeur.

Quant aux substances incohérentes, friables ou pulvérulentes, elles sont composées de fragments plus ou moins petits dont on déterminera les caractères, fût-ce à l'aide de la loupe.

Ainsi des sables et cailloux roulés sont incohérents, mais chaque caillou, chaque grain de sable est un fragment qui a les mêmes caractères que la même espèce minérale en gros fragments ; on y distinguera un grain siliceux d'un grain calcaire, avec plus de difficulté d'observation, mais avec autant de certitude que si les échantillons étaient plus gros.

Telle dolomie friable, examinée à la loupe, présentera une multitude de petits fragments cristallins, nettement caractérisés. Les cendres et pozzolanes volcaniques ainsi étudiées ont les mêmes apparences que les masses scoriacées ou cristallines.

L'examen de l'état d'agrégation permet rarement de spécifier les espèces minérales, mais il prépare à l'étude des autres caractères qui sont plus décisifs.

Couleurs.

Il est presque impossible de définir nettement les couleurs des minéraux, et pourtant, de tous les caractères extérieurs et physiques, c'est le plus significatif. L'inspection de la couleur suffit, en effet, pour indiquer que le minéral ne peut appartenir qu'à deux ou trois espèces ; le plus souvent même, elle le signale de telle sorte, qu'il n'y a plus qu'à vérifier cette première appréciation par l'examen de quelques autres caractères.

C'est pour cela que les collections sont indispensables à l'étude de la minéralogie. Il est en effet très-difficile de décrire une couleur, tandis qu'un simple coup d'œil la définit parfaitement.

Le **blanc** est la couleur de beaucoup de substances ; mais, malgré cette similitude, que de variations dans les nuances et dans les apparences !

Une substance blanche, lorsqu'elle est cristallisée, peut être limpide et transparente, ou d'un blanc laiteux et translucide, ou d'un blanc mat et opaque. Le quartz, le spath calcaire, le gypse, le feldspath adulaire, le plomb carbonaté, etc., sont des substances blanches, et pourtant on les distinguera au premier coup d'œil par des différences qui tiennent à d'autres caractères, mais se trahissent par la coloration. Les glaces irrégulières et nébuleuses du quartz hyalin, les stries de clivage du spath calcaire, celles du gypse et le blanc farineux que prend ce minéral sur toute surface frappée par le marteau; la teinte laiteuse du feldspath adulaire et l'éclat adamantin du plomb carbonaté, sont de véritables caractères de coloration et de nuances, qu'un peu d'habitude permet de reconnaître.

Si l'on examine les mêmes substances à l'état lithoïde et d'un blanc opaque, on voit que chacune affecte des teintes particulières, que chacune présente un éclat et des apparences caractéristiques, indéfinissables par une description, mais telles qu'un coup d'œil suffit, le plus souvent, pour la spécification.

Ainsi presque toutes les substances dites Zéolites (silicates alumineux hydratés), sont blanches; mais il y en a d'un blanc mat, d'un blanc nacré, d'autres teintées de rose, de jaunâtre, de bleuâtre, de verdâtre; ces apparences deviennent sinon des caractères absolus, du moins une aide très-efficace pour les distinguer, de telle sorte qu'un autre caractère de forme et de structure, qui seul ne suffirait pas, vient compléter la détermination de l'espèce.

La transparence limpide ou la coloration en blanc mat, ne sont autre chose que l'absence de coloration. Beaucoup de substances présentent ce caractère, et par conséquent on peut souvent rester indécis; mais cette absence de coloration concorde généralement avec la pureté des substances minérales, et dans ce cas de pureté, les autres caractères, dureté, densité, structure, etc., ont toute leur valeur, c'est-à-dire ne sont pas atténués ou masqués par des mélanges; si donc la coloration ne permet pas toujours de déterminer la composition des substances blanches, les autres caractères physiques y suppléent.

Les couleurs les plus caractéristiques des minéraux sont :

Le **vert**, dont les diverses nuances caractérisent une série de minéraux à base de cuivre. Le carbonate malachite, les phosphates, les arséniates, les hydrosilicates, le chlorure de cuivre, sont verts, et chacune de ces substances a des teintes spéciales plus ou moins foncées. Le plomb phosphaté ou plomb vert est vert-asperge. L'oxyde de chrôme est d'un beau vert émeraude, c'est lui qui paraît en effet colorer les variétés d'émeraude les plus recherchées. Le nickel arséniaté est d'un vert-pomme très-clair. Le péridot est vert-olive ou vert-bouteille translucide. Certains hydrosilicates de fer ou chlorites, sont au contraire du vert le plus foncé et le plus opaque.

Les roches vertes et surtout gris verdâtre sont très-répandues ; ce sont des hydrosilicates de fer qui colorent ainsi quantité de grès verts, marnes vertes, schistes verts.

D'autres fois ce sont les silicates et hydrosilicates de magnésie, le talc et la serpentine, substances vertes que l'on trouve isolées en roches, qui dans beaucoup de cas se mélangent à d'autres éléments pour former des roches plus ou moins vertes, suivant leur plus ou moins grande proportion. Les protogynes ou granites verts, les schistes talqueux verts, les serpentines et les gabbros verts, les marbres verts serpentineux en sont des exemples.

Le **bleu** est une couleur assez rare dans les minéraux et par cela même très-caractéristique. L'azurite, cuivre hydrocarbonaté est d'un bleu foncé. Le lapis-lazuli, d'un beau bleu, est très-recherché pour l'ornement et surtout pour la fabrication du bleu d'outremer naturel. La klaprothite, substance rare, est également bleue.

Parmi les colorations diverses que présente le corindon (alumine cristallisée), le bleu est la plus fréquente ; on le désigne alors sous la dénomination de saphir.

Le phosphate de fer est d'un bleu très-foncé.

On donne souvent le nom de pierre bleue, à des calcaires d'un gris à peine bleuâtre et plutôt violacé, qui servent de pierre de construction en Belgique; à des calcaires du lias (*blue*

lias) qui n'ont même plus cette apparence, mais dont les escarpements ont en effet sous certains aspects un reflet bleuâtre.

La coloration en **violet** est encore plus rare ; elle appartient à certains minéraux manganésifères. Ainsi on attribue à une petite proportion d'oxyde de manganèse la coloration du quartz *améthyste*.

Le **rouge** est une des couleurs les plus fréquentes, grâce au peroxyde de fer anhydre qui est rouge et très-répandu comme principe colorant d'un grand nombre de roches.

Le peroxyde de fer anhydre, à l'état fibreux ou compacte, est d'un rouge tellement intense qu'il a plutôt l'apparence d'un noir rougeâtre; lorsqu'on le pulvérise, la poussière est d'un rouge sombre mais franc. Lorsqu'il est mélangé de substances étrangères, d'argile par exemple, il devient d'un rouge vif et constitue l'ocre rouge.

Comme principe colorant, le peroxyde de fer anhydre a une action très-prononcée ; 10 pour 100 suffiront pour colorer des marbres ou des schistes en rouge foncé. Des proportions moins grandes encore donneront aux terres, argiles, marnes, etc., une couleur rougeâtre souvent signalée dans les campagnes, même pour les terres arables.

C'est à la propriété rubéfiante du fer que l'on attribue la coloration en rouge de certains grenats et celle du corindon-rubis, la plus recherchée des pierres précieuses dites de couleur.

Le cinabre ou sulfure de mercure est d'un rouge à la fois intense et des plus vifs, dit rouge vermillon. Lorsque le cinabre est impur et mélangé dans les schistes, on distingue encore sa nuance éclatante du rouge plus sombre du peroxyde de fer.

Le réalgar, arsenic sulfuré, est d'un rouge orangé tout différent des précédents.

On donne la dénomination de rouge à certaines substances métalliques qui n'ont que des reflets rougeâtres ou qui ne sont réellement rouges que lorsqu'on les réduit en poudre : tel est l'oxyde rouge de cuivre ; tel est aussi l'argent antimonié sulfuré, dit argent rouge.

Le **rose** fleur de pêcher appartient exclusivement au cobalt arséniaté.

Le **jaune** est une couleur très-fréquente à cause du peroxyde de fer hydraté, encore plus répandu et plus abondant, comme substance colorante, que le peroxyde rouge anhydre.

Le fer péroxydé hydraté pur, fibreux ou compacte, est ce que l'on appelle l'hématite *brune*, parce que la coloration est des plus intenses ; sa poussière est toujours d'un jaune de rouille très-caractéristique, et lorsqu'il est mélangé d'argile, il constitue l'ocre jaune dont on fait grand usage. De faibles proportions de cet oxyde suffisent aussi pour colorer les roches ou les barioler de teintes ocreuses si communes dans tous les terrains.

L'orpiment ou sulfure d'arsenic est jaune vif, à reflets nacrés. Le jaune du soufre n'a pas besoin d'être défini.

Parmi les gemmes, la topaze est souvent d'un assez beau jaune transparent ; le corindon, lorsqu'il est jaune, prend le nom de topaze d'Orient sans avoir de supériorité réelle comme coloration, sur la topaze ordinaire.

Le **noir** termine la série des couleurs du prisme, reproduites par les minéraux lithoïdes et nous trouvons même dans cette couleur négative plusieurs teintes caractéristiques. Ainsi l'anthracite et la houille grasse sont noirs, mais avec des aspects différents ; les oxydes terreux de manganèse sont d'un noir mat tout particulier ; le graphite est noir avec un éclat semi-métallique.

L'**éclat métallique** fait encore varier les couleurs ; nous avons évité d'en parler afin de faire mieux ressortir par une mention spéciale, l'importance des colorations qui en résultent.

Les couleurs métalliques sont peu variées et se rattachent au jaune, au gris et au noir ; mais ces trois types présentent des éclats très-différents et les teintes qui en résultent ont une valeur caractéristique décisive.

Le *jaune métallique* de l'or natif est bien connu. La pyrite cuivreuse est d'un jaune analogue, vif, éclatant, avec cette particularité que par une longue exposition à l'air, ce jaune devient orangé et s'irise de rougeâtre et de verdâtre; mise en poudre, la pyrite perd son éclat et prend une teinte jaune verdâtre. Le fer sulfuré est également jaune métallique, mais d'un jaune plus pâle, celui du bronze ou du laiton.

Le *gris métallique* présente des aspects très-divers et aussi caractéristiques. Ainsi le *gris d'acier* éclatant appartient au minerai de cobalt dit cobalt gris; le gris d'acier plus foncé, au minerai de cuivre, dit cuivre gris; le gris blanc un peu livide au mispickel ou sulfo-arséniure de fer.

Le gris bleuâtre, couleur du plomb fraîchement coupé, est la couleur de la galène ou plomb sulfuré; le gris bleuâtre un peu plus blanc est celle de l'antimoine sulfuré.

Le *noir métallique* appartient à plusieurs espèces minérales; le fer oxydulé magnétique est noir avec un éclat métallique faible dans la cassure, quelquefois assez miroitant sur les faces des cristaux; le fer oligiste est noir avec l'éclat métallique le plus vif, dans la cassure aussi bien que sur les faces naturelles des cristaux.

Plusieurs substances noires présentent un éclat indécis, quelquefois métallique, sur les faces naturelles et terne ou vitreux dans les cassures; le cuivre sulfuré est dans ce cas ainsi que l'argent sulfuré antimonié dont les cristaux ont un éclat prononcé mais dont la poussière est rouge et vitreuse.

Le graphite cristallin et le molybdène sulfuré présentent aussi l'éclat plus faible, que l'on appelle semi-métallique.

L'éclat métallique n'est pas le seul qui vienne ainsi modifier les couleurs et leur donner une valeur spéciale.

Les minéraux peuvent présenter l'éclat **vitreux, résineux, gras, adamantin.**

Les obsidiennes ou verres volcaniques sont les types de l'état vitreux, et lorsque leur éclat est seulement résineux elles constituent une autre variété de roches dites rétinites. Le quartz

hyalin, lorsqu'on le brise sans l'écraser, présente à la fois des cassures vitreuses et un éclat gras. Le plomb carbonaté, comme le diamant, a des cassures qui ont l'éclat particulier à la fois gras et éclatant dit adamantin.

Enfin, lorsqu'on examine la couleur d'un minéral, tous les détails doivent être consultés.

On observera, par exemple, si une substance est *tachante* comme le graphite ou le molybdène sulfuré, quelle est la couleur des traces laissées.

On observera surtout quelle est la couleur de la substance réduite en poussière, ce qui est facile par une simple rayure ou raclure avec une lame d'acier. La couleur des substances en poudre diffère souvent de celle des substances en masse, elle est presque toujours plus claire; telle substance fortement colorée donnera une poussière presque blanche et quelquefois d'une teinte toute spéciale. Cette propriété est mise en évidence sur les parties écrasées que présentent les surfaces frappées par les coups de marteau.

Transparence. Réfraction.

Un minéral cristallisé est souvent transparent ou translucide, lors même qu'il est coloré. Une substance est en général d'autant plus pure qu'elle est plus transparente, et ses autres caractères physiques sont aussi plus nets et plus précis.

Pour essayer ou déterminer une espèce, on choisira donc de préférence les fragments transparents, et si la substance a des faces naturelles planes, si elle se brise suivant des clivages réguliers, on pourra examiner ses propriétés de réfraction sur des lames présentant deux faces parallèles.

La réfraction est une conséquence de la transparence, elle est plus ou moins grande pour chaque espèce minérale. Si l'on avait un moyen facile et pratique pour mesurer l'indice ou angle de réfraction d'un minéral, il faciliterait dans beaucoup de cas la détermination des espèces. Ce moyen n'existe pas, il faut dans la plupart des cas faire tailler des plaques suivant certaines

directions et procéder à de véritables observations de physique.

En pratique, on ne s'occupe guère que d'observer si une substance présente la réfraction simple ou double.

Une lame de clivage obtenue dans la chaux carbonatée cristallisée et transparente présentera les images vues à travers, doubles et affaiblies. Le soufre a la même propriété, appréciable dans certains cristaux. Dans le quartz, qui la possède également, elle ne peut être mise en évidence qu'en taillant des plaques obliquement à l'axe des cristaux.

Par contre, des lames transparentes obtenues par le clivage du sel gemme, du spath fluor, etc., ne présenteront qu'une réfraction simple.

La propriété de double réfraction du spath calcaire et du quartz doit être signalée, parce que cette propriété a permis d'employer ces deux substances dans la construction de plusieurs appareils d'optique.

Beaucoup d'expériences intéressantes ont été faites sur la réfraction des cristaux, et l'on s'en est servi pour mettre en évidence la pénétration et les groupements des cristaux; ces expériences ont démontré la liaison intime qui existe entre les propriétés optiques et les formes des cristaux.

Pesanteur spécifique.

La pesanteur spécifique se note comparativement à celle de l'eau pure et distillée. Son appréciation serait un des caractères les plus décisifs, si elle pouvait être rapide et précise; mais il faut avoir recours soit à la balance hydrostatique, soit à des pesées de précision sur de petits fragments qui sont successivement pesés isolément, et après avoir été introduits dans un flacon rempli d'eau. Ces opérations sont faciles, mais demandent trop de temps pour devenir pratiques, et l'on ne se sert, en général, de la pesanteur spécifique, que dans les limites qu'on peut apprécier en sous-pesant un fragment dans la main.

Ce mode d'appréciation exige nécessairement un certain exercice et l'on remarque de suite, que les distinctions que l'on peut

faire ainsi réussissent d'autant mieux, que les fragments sont plus volumineux. Ainsi le calcaire pèse 2,65 et le gypse pèse 2,01 ; cette différence d'un cinquième est très-facilement appréciable à la condition que les fragments pèseront 2 ou 3 kilogrammes. A plus forte raison pourra-t-on distinguer la plupart des minerais des métaux usuels qui pèsent de 4 à 8, des substances lithoïdes qui forment la plupart des roches ou qui servent de gangues aux minerais, ces substances lithoïdes ne pesant en général que 2,50 à 3.

La baryte sulfatée qui, par exception, pèse 4, se distingue précisément par ce caractère des autres substances lithoïdes ; elle pourrait être confondue avec le plomb carbonaté qui est souvent blanc et d'un aspect analogue ; mais ce minerai pèse 6, et cela suffirait pour faire la distinction, si d'autres caractères ne venaient l'établir encore plus facilement.

Le quartz et la topaze en fragments roulés pourraient être quelquefois confondus, si le quartz ne pesait 2,65 et la topaze 3,50.

Les distinctions établies par la pesanteur spécifique sont d'un usage constant dans les mines. Les ouvriers en ont une telle habitude qu'ils apprécient la richesse d'un fragment de minerai en le sous-pesant.

Dans les mines de houille où l'on rencontre assez souvent parmi les fragments d'argile schisteuse des plaques et des nodules de fer carbonaté lithoïde qui ont la même couleur et le même aspect, les ouvriers reconnaissent ce minerai de fer avec une telle certitude, qu'ils ne regardent même pas les morceaux qu'ils mettent de côté; ils se contentent de les sous-peser. Or la différence de pesanteur n'est guère que de 2,5 à 3, les minerais de fer carbonaté lithoïde étant en général mélangés d'argile.

Dureté.

La dureté des minéraux varie dans des limites encore plus larges que tous les autres caractères, et elle a l'avantage de pouvoir être facilement appréciée. Pour cela il suffit d'avoir quelques

petits fragments de substances qui forment une échelle de dureté, de telle sorte que pour apprécier celle d'un minéral quelconque il suffira de vérifier quelle est la substance qui le raye et quelle est celle qui est rayée par lui.

Cette opération de la rayure d'une substance par une autre est des plus simples ; cependant elle exige un peu d'habitude lorsque les différences sont peu considérables. Ainsi on se sert toujours d'une pointe ou d'une arête tranchante de la substance que l'on tient, pour tracer une raie en appuyant sur une partie plane de celle qu'on veut rayer ; or il peut arriver que la première substance s'écrase en laissant une trace sur l'autre ; sans que pour cela il y ait une rayure réelle. On vérifiera donc en essuyant la partie rayée et l'examinant à la loupe.

Voici les substances qui forment l'échelle de dureté, depuis le diamant, qui est la plus dure et par conséquent raye toutes les autres, jusqu'au talc qui est tellement mou que sa consistance et son toucher sont comparés à celui du savon.

1° Le **diamant** (carbone cristallisé) ;
2° Le **corindon** (alumine pure cristallisée) ;
3° La **topaze** (alumine fluo silicatée cristallisée) ;
4° Le **quartz** (silice cristallisée) ;
5° Le **feldspath** (silicate d'alumine et de potasse cristallisé) ;
6° L'**apatite** (chaux phosphatée cristallisée) ;
7° Le **spath fluor** (chaux fluatée cristallisée) ;
8° Le **spath calcaire** (chaux carbonatée cristallisée) ;
9° Le **gypse** (chaux sulfatée hydratée cristallisée) ;
10° Le **talc** (silicate de magnésie).

Sous le rapport de la dureté on distingue aussi les substances scintillantes, c'est-à-dire faisant feu avec l'acier, de celles qui sont au contraire rayées par l'acier. Ces propriétés peuvent être appréciées par l'emploi d'une lime ou d'une pointe d'acier. En appliquant la lime sur les diverses substances qui forment l'échelle de dureté, on arrivera à reconnaître non-seulement les substances qui sont entamées ou ne le sont pas, mais celles qui résistent plus

ou moins et celles qui sont plus ou moins facilement entamées.

Enfin on se sert souvent du verre à vitres comme terme de comparaison, en disant que telle substance raye ou ne raye pas le verre; une substance qui raye le verre n'est pas rayée par l'acier.

La **ténacité** ne doit pas être confondue avec la dureté. Ainsi le diamant est facile à briser par le choc, tandis que certains feldspaths beaucoup moins durs sont tellement tenaces qu'on a peine à en casser des fragments.

En dehors de cette méthode de mesurer la dureté par la rayure, on fait un usage constant des diverses propriétés qui résultent de la dureté et de la ténacité et qui ne peuvent être définies que par la pratique. Un coup de marteau donné obliquement sur un minéral indique de suite s'il est ou non scintillant. C'est ainsi qu'on peut distinguer, par exemple, la pyrite de fer qui fait feu avec l'acier, de la pyrite cuivreuse qui au contraire est facilement entamée par l'acier. Dans un minerai composé de gangues dures contenant des veines et des rognons de pyrite cuivreuse, les mineurs qui perçaient des coups de mine dans les gangues, sentaient aussitôt la différence de dureté, lorsque leur fleuret venait à pénétrer dans la pyrite cuivreuse et annonçaient à l'avance sa prochaine apparition.

Pour les substances moins dures que l'acier, la manière dont elles se comportent sous le choc du marteau fournit des indications souvent utiles; un carrier des environs de Paris ne se trompera jamais lorsqu'il frappera de son marteau un bloc de calcaire compacte, dit moellon dur, sur lequel son marteau rebondit en laissant un signe d'écrasement par le choc et en rendant un son clair; un bloc de calcaire un peu argileux, dit moellon tendre, qui repousse beaucoup moins le marteau, rend un son sourd et s'écrase davantage; et enfin un bloc de gypse dans lequel la panne du marteau pénètre par l'écrasement de la substance, sans rebondir et en rendant un son tout à fait mat. Le **son** devient ainsi un auxiliaire ; les ouvriers s'en servent constamment pour s'assurer qu'un bloc de roche est sain, homogène et exempt de fissures ou de délits intérieurs.

Un minéral à l'état cristallin sera toujours plus sonore que le même minéral à l'état compacte, et celui-ci le sera plus que les variétés terreuses.

Certaines roches ont été signalées comme ayant un caractère spécial de sonorité ; celles que l'on appelle *phonolithes* ont une structure tabulaire, et les dalles que l'on y taille rendent un son qui se propage à plusieurs kilomètres des carrières.

L'essai de la dureté des minéraux permet de mettre en évidence quelques propriétés de peu d'importance, mais qui doivent être citées parce qu'elles existent pour certaines espèces. Telle est la *flexibilité* qui caractérise quelques substances minérales, telles que l'amiante, par exemple.

Il faut distinguer parmi les substances flexibles celles qui ont de l'*élasticité*. Ainsi le talc en lames flexibles n'en a aucune, tandis que le mica, substance facile à cliver en feuilles minces, est doué d'une élasticité très-prononcée, et reprend sa première position lorsqu'on l'a ployé sans toutefois en briser le tissu.

Le **toucher**, d'un usage très-borné en minéralogie, peut cependant être quelquefois utile et se rattache aux propriétés de cohésion et de dureté. Les substances talqueuses se distinguent par leur toucher onctueux et savonneux, tandis que d'autres, comme la pierre-ponce, sont remarquables par l'âpreté de leur contact. Il y a des substances qui sont froides au toucher parce qu'elles conduisent facilement la chaleur. Le happement à la langue, auquel on reconnaît les substances argileuses, est une propriété qui résulte de la propension de ces substances à absorber l'humidité.

La **phosphorescence** par frottement dans l'obscurité est un caractère très-remarquable dans la chaux silicatée, dite wollastonite.

L'**odeur** et la **saveur** n'ont que de rares applications. Une odeur bitumineuse, sulfureuse, arsenicale, obtenue par frottement ou percussion est un caractère dont la conclusion s'explique d'elle-même. Les roches argileuses, lorsqu'elles sont humides, ont une odeur spéciale.

La saveur n'existe que pour les sels solubles qui sont d'ail-

leurs peu nombreux ; la saveur styptique bien connue par celle de l'encre indique le fer sulfaté ; la magnésie sulfatée a une saveur amère et le sel ammoniac une saveur brûlante.

Le **magnétisme**, c'est-à-dire la propriété de se faire dévier l'aiguille de la boussole, caractérise quelques minéraux à base de fer : le fer oxydulé, la pyrite magnétique.

Structure et cassure.

Les caractères qui résultent des structures et des cassures des minéraux sont des plus usuels.

On observera d'abord, sur les escarpements que présentent les terrains, dans les carrières et dans les galeries des mines, la structure en grand, qui fournit déjà de nombreuses indications.

Une roche peut présenter une structure *massive*, comme la plupart des roches éruptives qui n'offrent guère que des fissures irrégulières; une structure *pseudo-régulière*, lorsque ces fissures déterminent des divisions d'apparence régulière comme les prismes basaltiques, les tables des phonolithes, etc.; une structure *stratifiée*, lorsque les minéraux, tels que les calcaires, les argiles, etc., ont été déposés en couches successives et superposées.

Les roches cristallines, examinées de près, sur les cassures que présentent les blocs d'une certaine étendue, peuvent offrir une structure *granitoïde*, déterminée par la juxtaposition de cristaux enchevêtrés les uns dans les autres ; *porphyroïde*, lorsqu'une pâte compacte et homogène renferme des cristaux disséminés et isolés.

La structure d'un minéral peut être *compacte* à pâte lâche ou serrée; *cellulaire*, comme celle des laves criblées d'une multitude de vides à parois déchiquetées, structure que présentent aussi les pierres meulières siliceuses ; elle peut être *bulleuse*, lorsque les vides sont sphéroïdaux et à parois lisses.

La structure peut encore être *fibreuse*, c'est-à-dire striée dans un sens, les fibres restant parallèles ; *radiée*, lorsque les fibres partent d'un centre et rayonnent vers sa circonférence. Elle peut être *schisteuse* et même *feuilletée*, comme l'ar-

doise ou le mica. Beaucoup de minéraux sont *grenus*, c'est-à-dire sont formés de grains irréguliers agglomérés, et plus ou moins serrés; quelques-uns présentent des grains sphériques ou ovoïdes, et par suite une structure que l'on a appelée *oolithique*, lorsque ces grains sont, au plus, gros comme des grains de millet; *pisolithique* lorsqu'ils sont gros comme des pois, ce qui arrive, par exemple, pour une grande partie des minerais de fer en grains.

Une structure pourra être *concrétionnée* et présenter des surfaces en saillies sphéroïdales plus ou moins prononcées, l'intérieur étant formé de zones concentriques superposées; elle sera *stalactiforme* lorsqu'elle formera des stalactites plus ou moins grosses qui rappellent la disposition de celles qui se forment dans les grottes.

L'étude des *cassures* complète cet examen des formes extérieures, elle doit se faire sur des substances homogènes et sur des surfaces fraîchement cassées.

La cassure est *lamelleuse* dans un seul ou dans plusieurs sens, ce qui est en général l'indication de clivages naturels et par conséquent de l'état cristallin. La cassure *saccharoïde*, comme celle du sucre, indique un état semi-cristallin, celui des marbres par exemple.

Une substance très-compacte et homogène, présentera des cassures à surfaces concaves ou convexes, dites *conchoïdales;* dans les substances vitreuses, les surfaces de ces cassures sont ondulées concentriquement.

Si le minéral est très-tenace et compacte, comme certaines pâtes feldspathiques, la cassure est souvent *esquilleuse* et *céroïde*, c'est-à-dire présente de petits éclats soulevés, mais non détachés, comme il s'en produit sur les cassures de la cire. Il y a beaucoup de minéraux dont les cassures sont finement *grenues;* telles sont beaucoup de substances métalliques. Lorsque les minéraux sont à l'état terreux, c'est-à-dire à texture lâche, leur cassure est *inégale* et grossièrement grenue.

L'étude des cassures se combine naturellement avec celle des

structures ; ainsi les minéraux schisteux, comme l'ardoise, présenteront dans un sens des cassures lisses et facilement obtenues, tandis que dans le sens perpendiculaire elles seront difficiles, à surfaces inégales. Le même phénomène se présentera dans les substances lamelleuses par clivages ; les cassures perpendiculaires à ces clivages sont esquilleuses, grenues ou conchoïdales, tandis que dans leur sens clivé elles sont à surfaces lisses et miroitantes et démontrent par cette propriété l'état cristallin du minéral.

Les propriétés cristallographiques sont les plus précises et les plus caractéristiques : ce sont celles dont on fait le plus fréquemment usage dans l'enseignement de la minéralcgie, et qui dominent dans la plupart des collections. En pratique, ces propriétés perdent de leur importance, parce qu'elles sont rarement exprimées d'une manière assez nette ; tandis que les caractères physiques, couleurs, dureté, densité, structure et cassure, moins nettement définissables, sont d'une application constante et suffisent presque toujours à la distinction des espèces. Mais toutes les fois qu'une substance présente des formes déterminables ou des clivages bien nets, tous les autres caractères physiques ne viennent plus qu'en seconde ligne, l'espèce est déterminée d'une manière précise et absolue par ses formes cristallines et par ses clivages.

CHAPITRE III

CRISTALLOGRAPHIE DES MINÉRAUX

Les minéraux sont souvent à l'état cristallin, quelquefois ils sont *cristallisés* en polyèdres symétriques.

Cette propriété a été remarquée de temps immémorial pour certaines substances dont les cristaux tapissent les fissures des roches cristallines ou métamorphiques, et surtout les géodes ou druses des filons. Le quartz ou cristal de roche est un exemple classique de la cristallisation des minéraux, il a toujours été recherché comme pierre dure et d'ornement.

Indépendamment des cristaux implantés sur les parois des fissures et des géodes, on trouve souvent des minéraux cristallisés, empâtés dans les roches. Lorsque ces roches sont friables ou tendres, on peut dégager ces cristaux et les obtenir complets et isolés.

Si l'on examine les minéraux cristallisés dont on fait commerce et qui nous arrivent de provenances très-diverses; par exemple, le quartz ou cristal de roche, des Alpes ou du Brésil; les grenats, du Tyrol, de la Norwége ou des Pyrénées; les topazes, du Brésil ou de l'Oural; les émeraudes, du Pérou ou de l'Oural; les corindons ou saphirs, de Ceylan, de la Chine ou de la Sibérie; les diamants, du Brésil ou de l'Inde, on sera frappé de la similitude de tous les cristaux qui appartiennent à une même substance minérale, quelque éloignées que soient les provenances.

Telle est cette similitude, qu'il n'est besoin ni d'étude, ni d'aucun essai pour distinguer chacune de ces substances, ceux qui

en font commerce et qui ont rarement étudié la minéralogie, ne connaissent pas moins les cristaux, à tel point que non-seulement ils désignent de suite chaque espèce, mais que prenant un cristal, ils sauront indiquer s'il a un ou plusieurs clivages ou s'il n'en a point; comment les clivages sont placés par rapport aux axes, aux faces et aux angles du cristal.

Les clivages ou plans suivant lesquels les minéraux cristallisés peuvent se diviser, sont en effet constants; ils font toujours les mêmes angles entre eux et avec les faces du cristal.

Ainsi, en brisant des fragments de cristaux de diamant, de feldspath, de spath calcaire, de baryte sulfatée, de gypse, etc., on obtiendra des fragments ayant des angles constants et la seule vérification de ces angles permettra de désigner l'espèce minérale à laquelle appartiennent ces fragments.

Cette propriété des clivages n'appartient pas seulement à des cristaux bien formés, mais à toute substance qni est à l'état cristallin, lors même qu'elle se trouverait en fragments amorphes.

Une espèce minérale n'existe réellement, avec une composition certaine et des caractères précis, que lorsqu'on la trouve en cristaux. Les cristaux sont quelquefois très-rares, mais l'état cristallin et clivable peut y suppléer.

Parmi les quatre à cinq cents espèces minérales qui sont admises, il y en a seulement quelques-unes qui n'ont jamais été trouvées à l'état cristallisé. Si ces quelques substances, telles que l'argile et la serpentine, sont admises comme espèces, malgré l'absence de cristaux et d'état cristallin, c'est seulement parce que leur abondance, la constance et la spécialité de leurs caractères physiques, peuvent autoriser ces exceptions.

La loi de l'existence de formes cristallines spéciales, pour toute espèce minérale en proportions définies, se vérifie dans les laboratoires et dans les fabriques de produits chimiques. N'obtient-on pas toujours et partout l'alun, soit en octaèdres réguliers, soit en cubes ; le borax en prismes droits ; le sulfate de fer et le sulfate de cuivre en prismes obliques ; toutes ces formes présentant partout les mêmes apparences et des angles identiques? Ne fait-on pas cristalliser par voie sèche le bismuth en trémies cubiques ;

la fonte de fer en trémies octaédriques? Dans les carneaux et les cheminées des fourneaux d'un grand nombre d'usines, ne voit-on pas se former par sublimation des cristaux, qui pour les mêmes substances présentent toujours les mêmes formes.

Les moyens énergiques de dissolution, de fusion ou de volatilisation dont la nature a disposé, font comprendre qu'elle a fait cristalliser des substances que nous ne pouvons ni dissoudre, ni fondre, ni volatiliser.

On a, cependant, donné idée par quelques expériences de laboratoire, de moyens analogues à ceux que la nature a peut-être employés sur une plus grande échelle. Ainsi M. de Sénarmont opérant dans des tubes fermés qui contenaient des eaux chargées d'acide carbonique ou d'acide sulfurique, ou bien de bicarbonates ou de sulfates alcalins, dissolvait par une élévation de température et de pression, du quartz, de la baryte sulfatée, du cuivre oxydulé, etc., substances qui cristallisaient ensuite sous l'influence d'un refroidissement lent. Les formes des petits cristaux ainsi obtenus, étaient parfaitement identiques à celles des cristaux naturels.

M. Ebelmen était arrivé aux mêmes résultats en adoptant la voie sèche. Les substances en proportions convenables pour former certains minéraux étaient dissoutes par fusion dans de l'acide borique ou du borax, dans de l'acide phosphorique ou des phosphates alcalins; puis, la température étant élevée jusqu'à la volatilisation des dissolvants, il se formait dans les cornues de petits cristaux de mêmes formes que les cristaux naturels. M. Ebelmen a fait cristalliser de cette manière des corindons, des topazes, des émeraudes, etc.

Ces expériences ont été reprises par M. Daubrée, qui, en faisant réagir à une haute température des vapeurs de chlorure ou de fluorure d'étain ou de titane, sur de la vapeur d'eau, a obtenu des cristaux d'oxyde d'étain et d'oxyde de titane. Appliquant ce même procédé à des chlorures de silicium et d'aluminium mis en contact avec diverses bases, il a obtenu des cristaux de divers silicates, notamment de pyroxène, de feldspath, de grenat, d'émeraude, d'euclase, de zircon, etc.

M. Becquerel, employant les moyens électro-chimiques, a obtenu des cristaux d'argent sulfuré, de galène, de plomb carbonaté, de cuivre sulfuré, de blende, etc.

En résumé, toute espèce minérale, combinaison chimique en proportions définies, doit, sauf quelques exceptions, se trouver à l'état de cristaux, dont les formes, les angles et les clivages sont caractéristiques.

L'étude de la cristallographie minérale devient dès lors de la plus grande utilité. Non-seulement cette étude est indispensable pour la pratique de la minéralogie, mais elle offre, en outre, un grand intérêt scientifique.

Au premier abord, soit qu'on examine une série d'échantillons cristallisés, soit qu'on étudie dans un atlas de minéralogie les formes théoriques de ces cristaux, il semble que ces formes sont à la fois très-nombreuses et très-complexes. L'analyse ramène toutes ces formes à des modifications symétriques d'un petit nombre de types, qui sont des cristaux très-simples que l'on appelle *formes primitives*.

Les clivages qui existent dans le plus grand nombre des minéraux cristallisés ont des rapports presque toujours évidents avec ces types cristallins.

Clivages. — Formes primitives.

Des plans de clivages existent non-seulement dans les cristaux de la plupart des espèces minérales, mais toutes les fois que ces espèces sont à l'état cristallin. On les met en évidence en brisant les masses ou même de petits fragments, avec un marteau ; en cherchant par tâtonnement les plans suivant lesquels ces fragments se séparent le plus facilement, et donnent lieu à des cassures planes, à surfaces lisses et miroitantes. Beaucoup de cristaux présentent des glaces indiquées par la transparence ou la translucidité du minéral, ou des stries marquées sur les faces, et en appuyant une pointe suivant les plans indiqués par ces glaces ou ces stries, on détache des lames successives, suivant des plans parallèles.

En opérant ainsi sur des fragments de chaux carbonatée ou de feldspath à l'état cristallin, on mettra en évidence les divers clivages caractéristiques.

Quelquefois on détermine les clivages, en chauffant et refroidissant subitement un minéral qui se fissure suivant ces clivages. La baryte sulfatée chauffée au rouge sombre, décrépite et se divise suivant trois plans, en parallélipipèdes dont un des plans surtout, est très-lisse et miroitant.

Pour certaines substances flexibles, il suffira de forcer les lames en les ployant un peu, on déterminera ainsi des stries indiquant d'autres plans de clivage. Ainsi le gypse lamellaire ou chaux sulfatée cristalline, se divise au moindre choc en lames très-faciles à cliver ; si l'on ploie légèrement ces lames, on voit se former dans deux sens, des stries qui indiquent en effet deux autres plans de clivages.

Enfin, dans certains minéraux parfaitement cristallisés, le quartz, par exemple, il est impossible de reconnaître aucun plan de clivage ; la cassure est vitreuse, inégale, ondulée.

Il existe donc des espèces minérales sans clivages, ce qui constitue encore un caractère distinctif.

En étudiant les clivages dans un minéral cristallin, on peut trouver les divers cas suivants :

1° **Point de clivage.** — Auquel cas le minéral, supposé pur et bien cristallisé, se cassera inégalement dans tous les sens, comme toute substance amorphe ; avec cette seule différence, que la cassure sera vitreuse, plus ou moins inégale et ondulée, mais luisante et indiquant par ce caractère que le minéral est sous l'état d'agrégation cristallin.

On reconnaîtra ce caractère de cassure vitreuse et négative du clivage, sur les cassures de petits cristaux de quartz, de fer oxydulé, de fer sulfuré.

2° **Un seul plan de clivage.** — La position de ce clivage sera déterminée par rapport à l'axe ou aux faces du cristal et, de plus, on indiquera si cet unique clivage est facile ou difficile.

Le mica est l'exemple le plus frappant de l'existence d'un seul clivage facile. Cette substance se divise en lames, en feuilles minces, transparentes, à surface brillante, et cette division peut être continuée tant qu'une épaisseur appréciable permet d'exercer un effort dans le sens du clivage. Mais si l'on cherche à briser, à diviser le mica dans un autre sens, la substance résiste avec une ténacité inattendue et ne donne que des arrachements irréguliers.

L'antimoine sulfuré cristallisé présente un clivage facile éclatant, dont les surfaces sont miroitantes, tandis que, dans tout autre sens, les cassures sont ternes, à surface inégale et arrachée.

Le wolfram (tungstate de fer et de manganèse) ne présente aussi qu'un clivage ; les surfaces obtenues suivant ce plan sont brillantes, mais un peu ondulées.

3° **Deux plans de clivage.** — Ces deux plans peuvent être plus ou moins faciles, égaux ou inégaux ; ils fournissent, par conséquent, des éléments d'appréciation et de comparaison d'autant plus précis que l'angle formé par ces deux plans de clivage devient un caractère spécial.

Le feldspath est un exemple classique de deux clivages assez faciles et perpendiculaires entre eux.

L'amphibole possède deux clivages égaux qui font entre eux un angle obtus.

4° **Trois plans de clivage.** — C'est le cas le plus ordinaire auquel s'appliquent les distinctions d'inégalités et d'angles.

Les trois clivages égaux se présentent quelquefois. Dans la chaux carbonatée, ils sont obliques; dans la galène, ils sont perpendiculaires entre eux.

Des trois clivages de la chaux sulfatée cristallisée, il y en a un seul facile. Les deux autres, perpendiculaires au premier, mais obliques entre eux, sont difficiles.

Il en est de même pour la baryte sulfatée : un seul clivage est facile et les deux autres sont difficiles et à surfaces un peu inégales.

5° **Quatre plans de clivage** peuvent exister, mais le fait est assez rare. Il est remarquable pour le spath fluor ou fluorure de calcium dont les cristaux présentent quatre plans de clivages égaux. Le diamant possède également quatre clivages égaux.

Dans la blende ou zinc sulfuré, les cristaux purs et bien formés présentent six plans de clivages égaux.

Les plans de clivage, lorsqu'ils sont au nombre de trois, ce qui est le cas le plus fréquent, suffisent pour déterminer un *polyèdre* ou *cristal* ayant six faces, douze arêtes et huit angles solides.

Lorsqu'on a obtenu un *solide de clivage*, on peut le cliver et le diviser en plusieurs autres qui seront des solides semblables ; on peut ensuite diviser les plus petits eux-mêmes et ainsi de suite, jusqu'à ce que ces solides échappent à toute action de clivage par leurs petites dimensions. On peut discerner les faces de clivage dans les plus petits fragments et poursuivre la division à la loupe et au microscope, de telle sorte qu'on est conduit à cette conclusion : que, si nous pouvions continuer la division, nous arriverions en quelque sorte jusqu'à la molécule, qui serait un cristal infiniment petit et semblable au premier solide de clivage qui a servi de point de départ.

Une même espèce minérale, quelle que soit sa provenance, présentera toujours le même solide de clivage, avec une parfaite identité d'angles.

Trois systèmes de clivages peuvent conduire à la génération de six solides distincts, dont trois seront composés par l'intersection de clivages ou plans perpendiculaires entre eux, et trois par l'intersection de clivages ou plans obliques entre eux.

Les solides ainsi formés peuvent être considérés comme ayant leurs faces coordonnées par rapport à *trois axes* joignant le centre des faces opposées.

Si, pour les axes rectangulaires ou obliques, on pose successivement les hypothèses de trois axes égaux ; de deux axes égaux et un inégal; de trois axes inégaux, on arrivera aux constructions des solides suivants :

AXES RECTANGULAIRES.

Les trois axes égaux........	**Cube.**
Deux axes égaux et un inégal.	**Prisme droit à base carrée.**
Les trois axes inégaux.......	**Prisme droit à base rectangulaire.**

AXES OBLIQUES.

Les trois axes égaux.........	**Rhomboèdre.**
Deux axes égaux et un inégal.	**Prisme oblique rhomboïdal.**
Les trois axes inégaux.......	**Prisme oblique non symétrique.**

En comparant les clivages d'une substance avec les axes du cristal, on arrive à saisir des relations incontestables.

Ainsi, trois clivages égaux conduisent nécessairement au cube, s'ils sont perpendiculaires entre eux; au rhomboèdre, s'ils sont obliques. Réciproquement, les substances ayant pour formes cristallines le cube ou le rhomboèdre, auront nécessairement trois clivages égaux, ou bien n'en auront pas. Par exception, les substances qui cristallisent dans le système du rhomboèdre pourront ne présenter qu'un seul clivage, mais ce clivage sera supplémentaire au lieu de se rapporter à une des faces du cristal et, par conséquent, à un des trois axes; il sera subordonné au quatrième axe du rhomboèdre.

Deux clivages égaux et un inégal indiquent nécessairement un cristal du deuxième ou du cinquième système.

Les cristaux dont les trois axes sont inégaux n'ont souvent qu'un ou deux clivages; quelquefois un de ces clivages est supplémentaire, c'est-à-dire qu'au lieu de se rapporter à une des faces du cristal primitif, ce sera, par exemple, un clivage diagonal. S'il existe dans ces cristaux trois clivages parallèles aux faces primitives, ils seront inégaux.

En général et sauf quelques rares exceptions, les solides obtenus par trois clivages peuvent être considérés comme des *formes*

primitives, c'est-à-dire comme des cristaux types, d'où dérivent toutes les autres formes cristallines que peuvent présenter les espèces minérales.

Quatre clivages égaux ne peuvent appartenir qu'à l'octaèdre régulier, qui, dès lors, devient la forme primitive de l'espèce; quatre clivages inégaux comprennent trois clivages principaux conduisant à un des six types cristallins, plus un clivage supplémentaire.

LOI DE DÉRIVATION DES CRISTAUX.

Les cristaux sont des polyèdres à faces planes symétriquement ordonnées par rapport à un ou plusieurs axes.

Les cristaux ne présentent jamais d'angles rentrants ; lorsqu'il en existe, ces angles résultent nécessairement du groupement de deux ou de plusieurs cristaux, soit par *mâcles*, c'est-à-dire par le croisement de leurs axes; soit par *hémitropies*, c'est-à-dire par le groupement en sens inverse de deux demi-cristaux qui se trouvent avoir ainsi un ou deux axes communs.

Les diverses parties des cristaux sont : les faces, les arêtes et les angles solides formés par la réunion des faces.

Les cristaux primitifs, ceux qui présentent les formes les plus simples, peuvent subir des modifications. On y voit se produire des *troncatures* simples, des *biseaux* ou des *pointements*.

Une **troncature** est la suppression d'une arête ou d'un angle par un plan dont l'intersection détermine une face nouvelle.

Un **biseau** est produit sur une arête, c'est-à-dire sur un angle dièdre, par deux plans sécants ou troncatures.

Un **pointement** est produit sur un angle solide au moins trièdre, par une série de troncatures correspondant à chacun des plans.

Cherchons maintenant à apprécier les conditions de symétrie des six formes primitives, afin de suivre les dérivations qui peuvent en résulter, car la nature n'a permis à ces formes de se modifier qu'en suivant les lois de la symétrie.

On a appelé *faces de même espèce*, dans les polyèdres réguliers, les faces placées symétriquement par rapport aux axes; *arêtes de même espèce*, les arêtes qui séparent les faces de même espèce, faisant entre elles le même angle dièdre ; *angles de même espèce*, les angles solides formés par la réunion d'angles plans égaux chacun à chacun.

Les arêtes et angles de même espèce sont symétriquement placés relativement aux axes.

Cela posé, nous pouvons imaginer que l'on modifie une quelconque des formes primitives :

1° Par une simple *troncature*, c'est-à-dire par un plan qui coupe un angle ou une arête, en déterminant une facette nouvelle ;

2° Par un *biseau* engendré par deux plans sécants ou troncatures ;

3° Par un *pointement*, qui serait produit sur un angle par la réunion de trois plans sécants ou troncatures.

La nature présente fréquemment ces modifications, mais toujours en se conformant à cette loi, qui résume en quelque sorte toutes les règles de la cristallographie et que l'on appelle la *loi de dérivation* des cristaux :

Les modifications qui ont eu lieu sur certaines parties d'un cristal, affectent en même temps et de la même manière toutes les parties de même espèce dans le cristal; elles affectent d'une manière différente toutes les parties d'espèce différente.

Les conséquences de cette loi, dont l'énoncé est si simple, vont en effet nous permettre de faire dériver une multitude de cristaux ou polyèdres réguliers, symétriques, de ceux que nous avons pris pour point de départ. Ces conséquences sont :

1° Les arêtes et les angles de même espèce, dans un cristal, sont tous modifiés en même temps et de la même manière, par le même nombre de facettes, également inclinées aux plans homologues adjacents. Ces facettes seraient en nombres différents et inégalement inclinées aux plans adjacents pour les angles et les arêtes d'espèce différente ;

2° Une facette placée sur une arête ou sur un angle solide,

formée par des plans de même espèce, doit être également inclinée à ces plans, si elle est seule; si elle est inégalement inclinée, elle entraîne l'existence d'une ou de plusieurs autres facettes, qui rétablissent la symétrie ;

3° Une facette placée sur une arête qui sépare des plans d'espèce différente sera inégalement inclinée sur ces plans.

L'application de la loi de dérivation à chacun des six types primitifs, constitue toute la cristallographie.

Cette application suffit, en effet, pour déduire de chacun de ces types une série de solides qui sont précisément les cristaux *dérivés* que présentent les diverses espèces minérales.

Les cristaux dérivés ont généralement des formes plus complexes que les cristaux primitifs, et nous remarquerons que l'ouvrier qui voudrait reproduire exactement les modèles de la plupart des cristaux dérivés, avec leurs proportions et la valeur précise des angles, serait obligé de suivre exactement la marche que nous indiquons. Il ferait d'abord le solide type ou primitif, et le modifierait par des troncatures simples, des biseaux ou des pointements, disposés conformément aux règles qui viennent d'être mentionnées.

1er SYSTÈME CRISTALLIN.

Trois axes rectangulaires égaux.

CUBE.

Le cube est le solide le plus régulier. Les six faces y sont de même espèce, ainsi que les huit angles trièdres A et les douze arêtes B.

Ce solide ayant d'ailleurs ses axes égaux et ses diagonales égales, tous ses éléments se trouvent coordonnés régulièrement par rapport à un point ou *centre*. On peut inscrire une sphère dans un cube, ou lui en circonscrire une; c'est une propriété spéciale qui n'appartient qu'au système cubique, et qui l'a fait quelquefois désigner sous la dénomination de système *sphéroédrique*.

Ce que l'on peut appeler la cristallographie du cube est la

plus importante de toutes, parce que les modifications sont d'autant plus nombreuses et donnent naissance à des cristaux d'autant plus éloignés du type primitif que ce type est plus symétrique. C'est une règle qui se vérifiera aussi bien pour le rhomboèdre que pour le cube, c'est-à-dire aussi bien pour les trois axes obliques et égaux, que pour les trois axes rectangulaires et égaux.

Examinons donc d'abord le cube, dont tous les angles et toutes les arêtes sont de même espèce.

Troncature simple sur les angles du cube. — Supposons une troncature produite sur un des angles A (*fig.* 1).

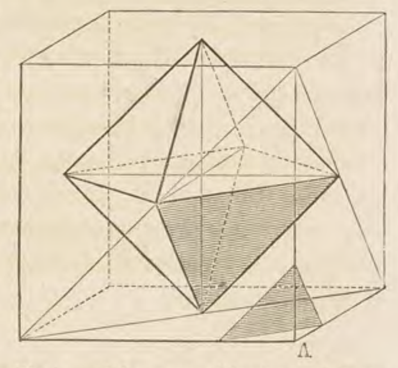


Fig. 1. — Cube avec modification conduisant à des octaèdres réguliers.

D'après les lois de symétrie, tous les angles doivent se trouver modifiés simultanément et de la même manière. Or, une troncature, placée sur l'angle A, détermine une face triangulaire dont les traces sont parallèles aux trois diagonales des faces coupées, de telle sorte que si l'on prolonge la troncature, elle finira par s'appuyer sur ces trois diagonales en présentant pour section un triangle équilatéral.

Les huit angles devant être modifiés en même temps et de la même manière, il est facile de voir sur la figure 1, que les huit troncatures font disparaître complétement les faces du cube. Ces faces sont remplacées par huit faces nouvelles, triangulaires, équilatérales, appuyées sur les trois axes égaux et rectangulaires.

Le cristal ainsi dérivé est l'**octaèdre régulier.**

Entre le cube et l'octaèdre, il existe des cristaux intermédiaires qui peuvent se rapporter, soit au cube, si les troncatures sont peu développées; soit à l'octaèdre, si elles le sont beau-

coup. Ainsi le *cubo-octaèdre* (*fig.* 2) est un cube symétriquement épointé; les faces primitives du cube sont dominantes.

Au contraire, si les faces de l'octaèdre sont dominantes, le solide change d'aspect et nous présente un octaèdre symétri-

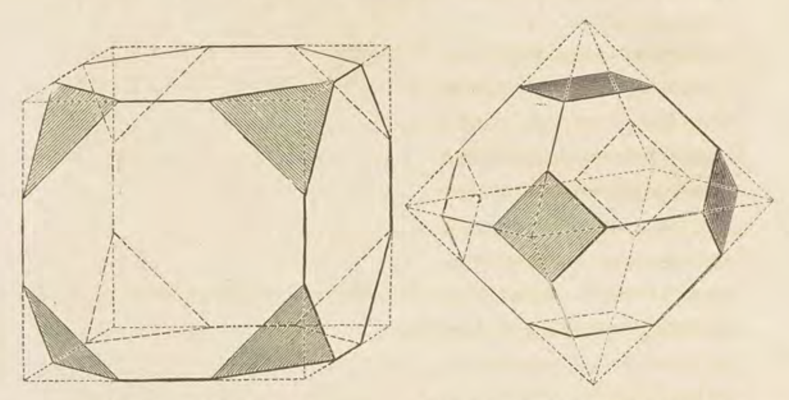


Fig. 2. — Cubo-octaèdre.

Fig. 3. — Octaèdre régulier avec troncatures représentant les faces du cube.

quement épointé par ce qui reste des faces du cube primitif, ainsi qu'il est indiqué figure 3.

Pointements sur les angles du cube. — Une troncature sur l'angle A du cube, inégalement inclinée aux faces adjacentes, entraîne nécessairement l'existence de deux autres troncatures qui viennent rétablir la symétrie, conformément aux lois de la dérivation, et déterminer un pointement.

Ce pointement, peu développé et reproduit sur les huit angles, déterminerait un cube triépointé; mais si l'on prolonge les faces des pointements, ces faces, venant à s'appuyer sur les centres des faces ou points d'intersection de leurs diagonales, arriveront à faire disparaître les faces du cube. On fait dériver ainsi du cube primitif, un solide nouveau composé de 8 pointements de 3 faces, c'est-à-dire de 24 faces nouvelles, comme l'indique la figure 4. Ces faces sont des quadrilatères composés de deux arêtes courtes et de deux longues, non parallèles entre elles; ce ne sont pas des trapèzes, mais elles en ont souvent

l'apparence, ce qui a fait donner à ce solide de 24 faces la dénomination de **trapézoèdre.**

Pour ce cas d'une modification par pointement, ce n'est pas comme pour l'octaèdre, où une seule troncature était possible, faisant le même angle avec les trois plans adjacents; il peut exister plusieurs séries de troncatures déterminant sur les angles du cube des pointements plus ou moins aigus ou surbaissés, et par conséquent il peut exister *plusieurs trapézoèdres.*

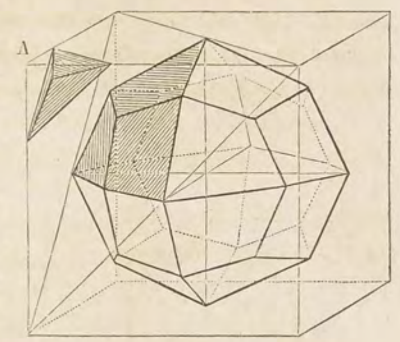


Fig. 4. — Dérivation du trapezoèdre.

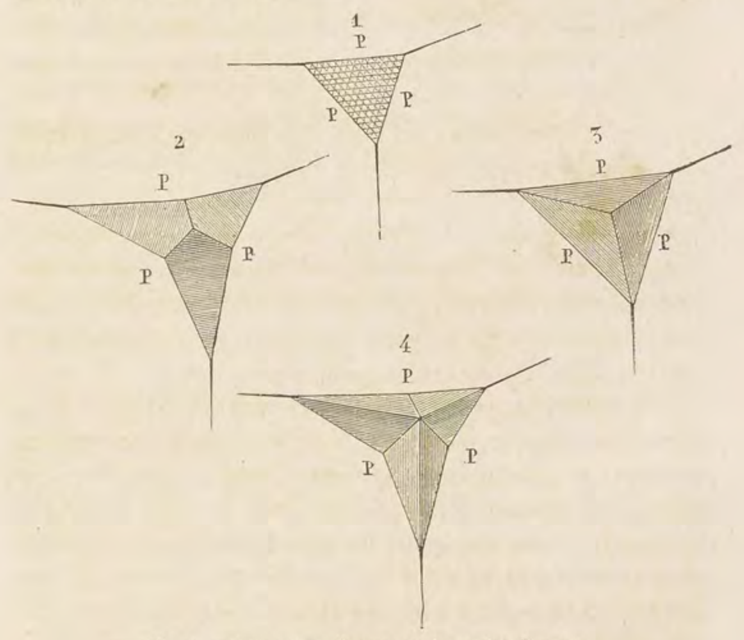


Fig. 5. — Troncatures diverses sur les angles d'un cube.

Un cube peut être modifié sur les angles par des pointements

variés et plus ou moins prononcés. La figure 5 représente : 1° la troncature de l'octaèdre ; 2° un pointement ; 3° le pointement du trapézoèdre ; 4° un pointement formé de six facettes. Tous ces pointements sont possibles, parce qu'ils affectent de la même manière les faces adjacentes P du cube primitif.

Troncatures sur les arêtes du cube. — Appliquons les mêmes procédés de modification aux arêtes, en supposant, d'abord sur l'arête B une troncature simple, également inclinée aux faces adjacentes (*fig.* 6).

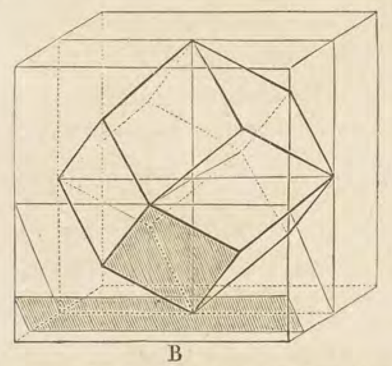


Fig. 6. — Dérivation du dodécaèdre rhomboïdal régulier.

Cette troncature, si elle est suffisamment développée, atteindra les centres des faces adjacentes et en supprimera la moitié. Or, comme l'existence d'une de ces troncatures entraîne la modification simultanée des 12 arêtes du cube, les faces primitives disparaissent, et un nouveau solide est engendré, formé par 12 faces qui sont des rhombes égaux, appuyés sur les axes égaux et rectangulaires.

Ce nouveau solide est le **dodécaèdre rhomboïdal régulier.**

Biseaux sur les arêtes du cube. — Si les arêtes sont modifiées par des biseaux, on déterminera 24 faces nouvelles.

Ces faces deviennent évidemment triangulaires, si elles sont prolongées jusqu'à la suppression complète des faces du cube (*fig.* 7). Le solide nouveau se trouve dès lors composé de 8 pyramides quadrangulaires surbaissées, construites sur les faces d'un cube inscrit.

Les 24 faces sont des triangles isocèles égaux, et l'on a donné à ce solide le nom d'**hexatétraèdre.**

Les plans des biseaux peuvent avoir diverses inclinaisons sur

les faces du cube; il pourra donc exister *plusieurs hexatétraèdres.*

Lorsque les modifications des biseaux sur les arêtes se produisent de manière à laisser les faces du cube dominantes, il en résulte des cubes modifiés par un biseau sur les arêtes, dits cubes *bordés*, qui conservent d'autant mieux leurs caractères,

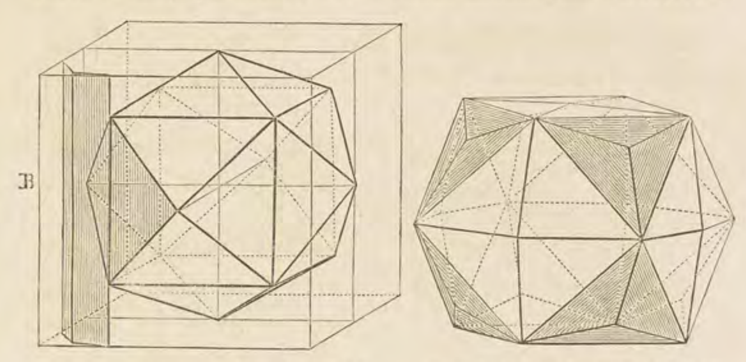


Fig. 7. — Dérivation de l'hexatétraèdre.

Fig. 8. — Cube portant à la fois les faces du trapézoèdre et de l'hexatétraèdre.

que les arêtes des facettes nouvelles restent parallèles aux arêtes primitives.

Quelquefois les modifications sur les arêtes et sur les angles se produisent en même temps, et donnent lieu à des cubes plus ou moins modifiés. La figure 8 se rapporte à une substance minérale qui présente à la fois les faces d'un trapézoèdre et celles d'un hexatétraèdre.

Dérivés hémièdres du cube. — Quelques cristaux, d'autant plus remarquables qu'ils appartiennent à des espèces minérales répandues, semblent échapper aux lois de la symétrie.

Ce sont des cristaux dans lesquels les faces ne sont développées que de deux en deux. En supprimant ainsi la moitié des faces, on n'obtient plus que des demi-cristaux, ou des *cristaux hémièdres.*

Dans la génération de l'octaèdre, supposons que les faces se développent seulement de deux en deux, fig. 9, il en résultera un solide compris sous 4 faces triangulaires.

Ces 4 triangles, formés par les diagonales des faces du cube primitif, sont des triangles équilatéraux égaux, et le solide engendré est le **tétraèdre régulier.**

Le tétraèdre régulier peut s'inscrire dans le cube primitif, et on voit en l'inscrivant qu'il en existe deux qui se couperaient

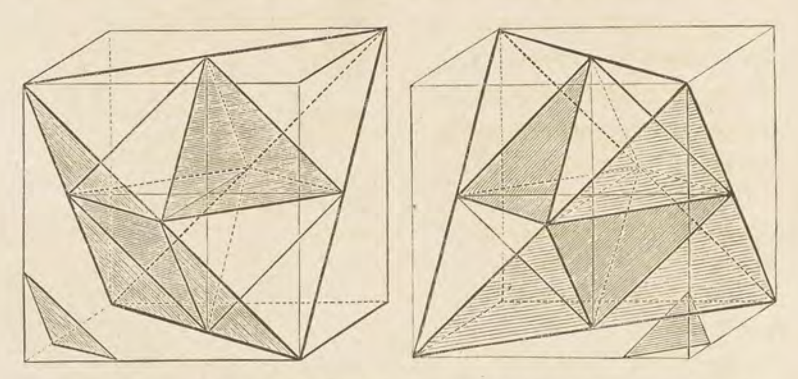


Fig. 9.—Dérivation du tétraèdre à gauche. *Fig.* 10.—Dérivation du tétraèdre à droite.

par le milieu, et dont la réunion formerait l'octaèdre (*fig.* 10). L'un de ces tétraèdres est formé en prenant pour point de départ l'angle inférieur à gauche du cube; l'autre est formé au contraire en prenant pour point de départ l'angle inférieur à droite.

Le tétraèdre régulier est donc un demi-octaèdre.

L'hexatétraèdre présente également des cas d'hémiédrie.

Supposer que la moitié des faces d'un hexatétraèdre se développe de deux en deux, cela revient à construire un solide en tronquant les arêtes du cube par un seul des plans du biseau, c'est-à-dire par un plan inégalement incliné aux faces adjacentes du cube. Chaque face nouvelle est alors un pentagone dans lequel une arête plus longue que les autres vient s'appuyer sur la ligne qui partage en deux la face du cube. Il y a 12 faces nouvelles ainsi produites, et le solide est un **dodécaèdre pentagonal** (*fig.* 11).

Le *dodécaèdre pentagonal symétrique* (et non pas régulier) est un demi-hexatétraèdre.

Le dodécaèdre pentagonal symétrique, ainsi construit, présente deux espèces d'angles trièdres. 8 de ces angles, qui correspondent aux 8 angles du cube, sont réguliers et de même espèce ; supposons qu'ils se trouvent tous tronqués, jusqu'à ce que les faces triangulaires, ainsi formées, se joignent les unes aux autres.

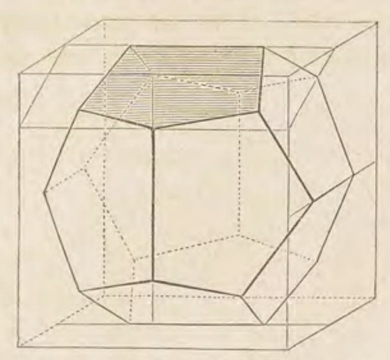


Fig. 11. — Dérivation du dodécaèdre pentagonal symétrique.

Les 12 faces pentagonales seront réduites par cette construction, à 12 triangles isocèles égaux qui, jointes aux 8 faces nouvelles formées par les triangles équilatéraux des troncatures, détermineront un solide à 20 faces triangulaires ou **icosaèdre**.

Sur la figure 12, on a distingué par des teintes, les faces résultant des troncatures faites sur le dodécaèdre pentagonal.

La figure 13 est le dodécaèdre pentagonal avec l'indication des

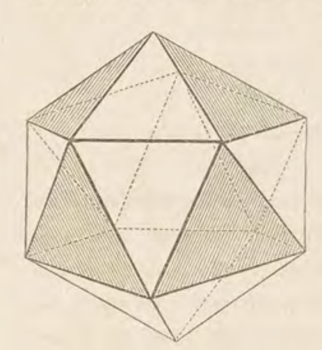


Fig. 12. — Dérivation de l'icosaèdre.

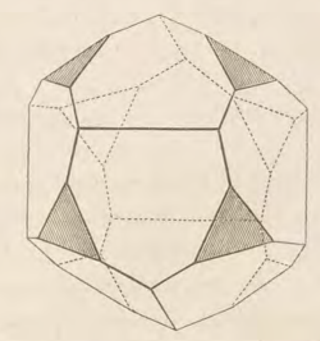


Fig. 13. — Dodécaèdre pentagonal avec les troncatures de l'icosaèdre.

8 troncatures peu développées ; la figure 12 indique l'icosaèdre complétement formé.

Les faces du dodécaèdre pentagonal et de l'icosaèdre donnent

lieu à des cristaux mixtes assez variés, suivant que les faces de l'un ou de l'autre solide sont plus ou moins développées et dominantes. Il arrive aussi dans beaucoup de cristaux, que les faces primitives du cube ne sont pas complétement éliminées par celles du dodécaèdre pentagonal; il en résulte des solides mixtes, représentés par la figure 14. Les faces primitives distinguées par des teintes, peuvent être plus ou moins développées.

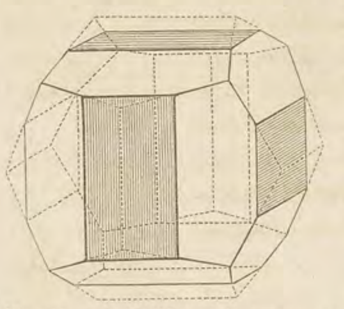


Fig. — 4. — Dodécaèdre pentagonal portant les faces du cube.

2° SYSTÈME CRISTALLIN.

Axes rectangulaires. Deux égaux. Un inégal.

PRISME DROIT A BASE CARRÉE.

Le *prisme droit à base carrée* peut être considéré comme un cube dont quatre faces seraient allongées. Dès lors les divers éléments du cristal sont :

8 angles solides A de même espèce;

8 arêtes des bases B;

4 arêtes du prisme H.

Ce système peut donc être affecté par trois genres de modifications.

Troncatures sur les angles. — La modification opérée sur les huit angles, par une troncature, aura pour résultat 8 faces nouvelles, disposées symétriquement autour de l'axe (*fig.* 15).

Ces huit faces donneront lieu à un *prisme carré pyramidé*, si elles ne sont pas assez développées pour supprimer les faces du prisme.

Fig. 15. — Prisme droit à base carrée modifié sur les angles.

Lorsqu'elles seront développées de manière à supprimer le noyau primitif, il en résultera des **octaèdres à bases carrées.**

Nous disons *des* octaèdres, car la troncature génératrice pouvant être inégalement inclinée aux faces adjacentes qui ne sont pas de même espèce, l'angle sera variable, et les octaèdres à base carrée seront plus ou moins obtus ou aigus. Un cristal pourra porter des facettes appartenant à deux octaèdres, ou même des modifications plus complexes, ainsi que l'indique la figure 16.

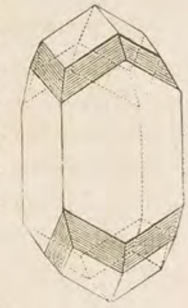


Fig. 16.— Prisme droit à base carree modifié.

Troncatures sur les arêtes des bases.— Les modifications sur les arêtes des bases conduisent également soit à des prismes pyramidés, soit à des octaèdres à bases carrées, ainsi que le fait voir la figure 17 qui présente un octaèdre inscrit, résultant de ces modifications développées jusqu'à suppression des faces du prisme, et un prisme pyramidé, résultant de l'octaèdre circonscrit par des modifications tangentes aux arêtes.

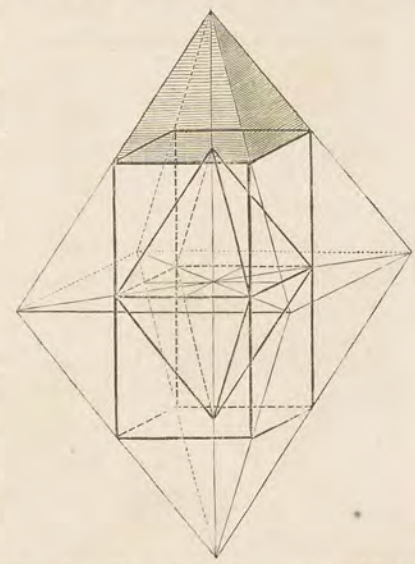


Fig. 17. — Prisme droit à base carrée modifié sur les arêtes des bases.

La variabilité des angles qui peuvent résulter des modifications ainsi produites sur les angles ou sur les arêtes d'un prisme, est ici un élément d'irrégularité apparente. Ces modifications, si elles étaient en nombre infini, donneraient lieu à des angles sans aucune valeur et les caractères cristallographiques perdraient une grande partie de leur importance pour les quatre types prismatiques.

Nous avons déjà signalé l'existence d'angles variables et multiples, dans certaines dérivations du système cubique; mais dans ce cas l'inconvénient est faible, parce que les trapézoèdres ou les hexatétraèdres se reconnaissent toujours très-facilement, qu'ils résultent de modifications plus ou moins inclinées aux faces du type primitif.

Il n'en est pas de même des prismes. Les sommets qui représentent en général leurs caractères essentiels seraient presque impossibles à distinguer, si les modifications étaient en nombre indéfini et si tous les angles pouvaient s'y présenter.

Le nombre des modifications et des angles se trouve limité par la règle suivante, déduite de l'observation : les troncatures qui peuvent modifier un angle ou une arête, font avec la base du cristal, des angles qui sont des multiples ou des sous-multiples les uns des autres.

Si par exemple nous prenons les octaèdres du prisme à base carrée, construits sur les arêtes : un des plans générateurs coupant l'axe du prisme à une distance b, les autres le couperont à une distance égale à $2\,b$, $3\,b$, ou à $\frac{1}{2}\,b$, $\frac{1}{3}\,b$, $\frac{1}{4}\,b$ (*fig.* 18).

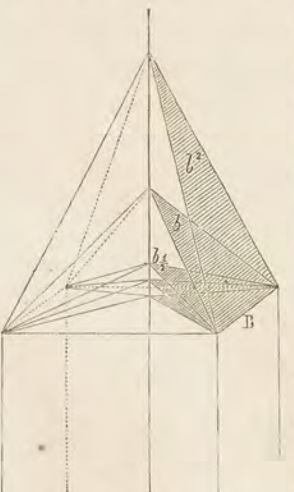


Fig. 18.

Les sinus des angles formés par ces plans modificateurs, avec la face du cristal, sont donc des multiples ou des sous-multiples de l'un d'eux, et le nombre des angles qui existent pour chaque substance est toujours très-limité.

Nous reviendrons sur cette règle dont l'étude des cristaux a révélé la cause, nous bornant à dire ici qu'elle s'applique à toutes les modifications de chaque type cristallin.

Modifications sur les arêtes du prisme droit à base carrée. — Ces modifications sont des plus simples et se répètent à la

fois sur les quatre arêtes du prisme qui sont de même espèce.

Une troncature simple sur ces arêtes transforme le prisme carré en prisme à 8 pans (*fig.* 19).

Un biseau le transforme en prisme à 12 pans, s'il ne supprime pas les faces primitives. Un biseau combiné avec la troncature simple, donnera naissance à un prisme à 16 pans.

Les prismes dérivés du prisme à base carrée, quels que soient le nombre et la complication des modifications, conservent ainsi un caractère décisif; le nombre de ces modifications est un multiple de 4, puisqu'il y a toujours quatre éléments de même espèce.

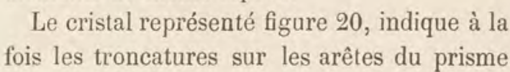


Fig. 19.— Prisme droit à base carrée modifié sur les arêtes du prisme.

Le cristal représenté figure 20, indique à la fois les troncatures sur les arêtes du prisme et celles de l'octaèdre placé sur les arêtes des bases. Les faces primitives P, M, M, sont encore distinctes, mais le développement de ces deux systèmes de modifications peut arriver à les faire disparaître sans que les caractères du deuxième système cessent d'être faciles à reconnaître, puisqu'il résulterait de cette extension des modifications, un prisme à base carrée, placé sur les arêtes, et terminé par une pyramide quadrangulaire.

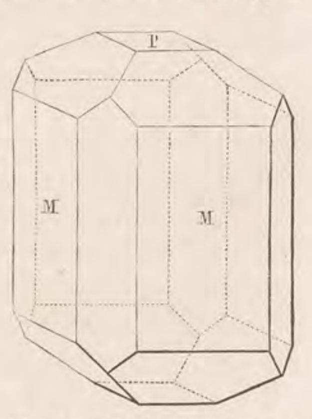


Fig. 20.— Prisme droit à base carrée modifié sur les arêtes des bases et du prisme.

On voit que la série des modifications appliquées au prisme droit à base carrée est des plus simples; d'autres modifications géométriques sont possibles, mais nous ne mentionnons que celles qui existent dans la nature et à ce titre nous citerons un cas d'hémiédrie.

Le prisme à base carrée donne naissance à deux séries d'octaèdres. Parmi ces octaèdres, il en est quelques-uns qui se présentent à l'état hémièdre; ce sont alors des *tétraèdres symétriques.*

3e SYSTÈME CRISTALLIN.

Trois axes rectangulaires inégaux.

PRISME DROIT A BASE RECTANGULAIRE.

Ce cristal a pour éléments constituants :

8 angles trièdres A ;

4 arêtes longues des bases B ;

4 arêtes courtes des bases D ;

4 arêtes du prisme H ;

ce qui éablit la possibilité de quatre ordres de modifications.

Modifications sur les arêtes du prisme à base rectangulaire. — Elles ont ici un caractère spécial d'importance ; elles sont inégalement inclinées aux faces adjacentes, mais symétriques et conduisent à des **prismes droits rhomboïdaux.**

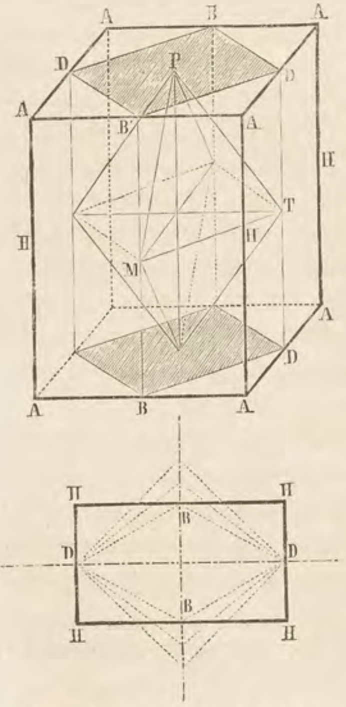


Fig. 21. — Élévation et projection du prisme droit à base rectangulaire et dérivation des prismes droits rhomboïdaux.

Les deux diagonales DD, et BB, de ces prismes rhomboïdaux dérivés sont perpendiculaires entre elles, ainsi que cela est indiqué par la figure 21.

Les prismes droits rhomboïdaux sont très-fréquents, dans ce système cristallin ; leurs angles deviennent dès lors caractéristiques, ce qui fait quelquefois considérer le *prisme rhomboïdal* comme forme essentielle, pouvant être une forme primitive.

Les prismes droits rhomboïdaux peuvent d'ailleurs être mo-

difiés par des troncatures de manière à présenter des prismes à 6, 8 et 10 pans.

Dans le prisme droit rhomboïdal, les arêtes du prisme sont de deux espèces différentes, deux correspondent aux angles obtus, les deux autres aux angles aigus; il peut donc se produire des prismes à six pans par la troncature de deux de ces arêtes, ainsi que l'indique la figure 22. Supposons que l'angle obtus soit de 120 degrés; dans ce cas, les deux troncatures, étant parallèles au plan diagonal, détermineront un prisme dont la base sera un hexagone régulier.

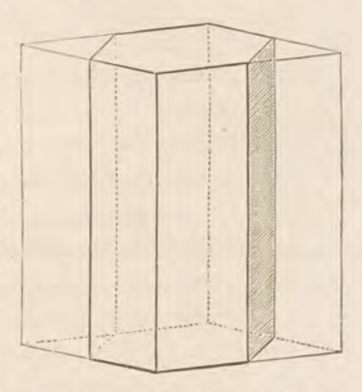


Fig. 22. — Dérivation d'un prisme droit hexagonal.

Les *modifications sur les arêtes des bases du prisme droit rectangulaire* ont un caractère tout spécial; elles peuvent déterminer des biseaux et faire ressortir le défaut de symétrie du type primitif. Ainsi, toutes les fois qu'on verra, sur un prisme droit, les sommets affectés de modifications doubles, c'est-à-dire qui ne portent que sur deux arêtes, ce prisme appartiendra nécessairement au troisième système cristallin.

Lorsque les arêtes des bases sont modifiées simultanément, l'inégalité du développement des facettes qui en résultent et leur parité deux à deux, indiquent également le type primitif; si les facettes nouvelles sont développées de manière à éliminer les faces primitives, elles conduisent à des **octaèdres à bases rectangulaires.**

Les *modifications sur les angles* déterminent des **octaèdres à bases rhombes.**

Les octaèdres à bases rectangulaires ou rhombes peuvent être modifiés sur leurs arêtes; leur dérivation du troisième type cristallin est alors indiquée par la disposition binaire des facettes *bb*, qui en résultent (*fig.* 23).

Les octaèdres, soit qu'ils figurent comme sommets de prismes, soit qu'ils se dessinent complétement par la suppression du corps du prisme et la jonction des deux bases, peuvent se combiner entre eux.

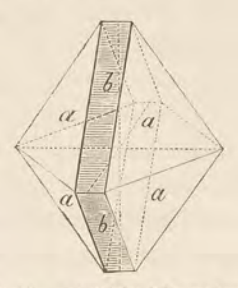


Fig. 23. — Octaèdre à base rhombe modifié sur les arêtes.

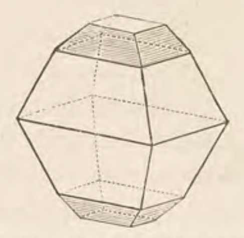


Fig. 24. — Octaèdre à base rhombe dioctaèdre.

Ainsi il y a des cristaux *dioctaèdres*, c'est-à-dire qui présentent à la fois les faces de deux octaèdres.

La figure 24 représente un de ces cristaux qui est en outre basé, c'est-à-dire tronqué aux sommets par les bases du cristal primitif.

4e SYSTÈME CRISTALLIN.

Trois axes obliques égaux.

RHOMBOÈDRE.

Le rhomboèdre est le plus symétrique des types engendrés par des axes obliques, et c'est (comme dans le cas du cube) celui qui donne lieu aux dérivations les plus complexes.

Pour se rendre compte de ces dérivations, il est essentiel d'étudier d'abord les conditions de symétrie du cristal.

Les rhomboèdres peuvent être aigus ou obtus, ou bien se rapprocher du cube ; cela dépend de l'angle sous lequel les trois axes se croisent.

Prenons un rhomboèdre (*fig.* 25), nous verrons de suite qu'il existe un *quatrième axe* par rapport auquel les éléments du cristal se trouvent disposés avec une grande symétrie.

Le rhomboèdre se trouve formé par trois plans également inclinés entre eux, et également inclinés à l'axe mené par le sommet A; trois autres plans symétriques étant menés en sens inverse, par le sommet opposé.

Les arêtes et les angles, éléments du cristal, symétriquement ordonnés par rapport à cet axe, sont:

2 angles trièdres aux sommets A;

6 angles latéraux E.

6 arêtes B partant des sommets.

6 arêtes D disposées en zigzag autour de l'axe.

Il y aura donc six ordres distincts de modifications dont on se rendra compte en examinant quelques propriétés géométriques du rhomboèdre, propriétés indiquées par la figure 25.

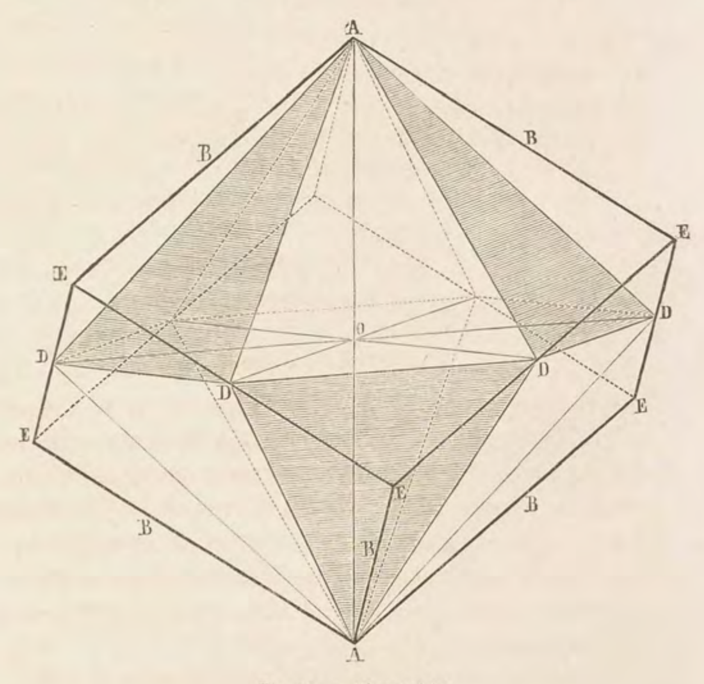


Fig. 25. — Rhomboèdre.

Si l'on coupe le cristal par un plan perpendiculaire à l'axe, et

passant par son milieu, ce plan coupera les milieux des 6 arêtes en zigzag, milieux équidistants de l'axe et par conséquent du centre O ; la section sera nécessairement un hexagone régulier.

Cette propriété reconnue, examinons les modifications qui peuvent se produire sur les arêtes.

Modifications sur les arêtes des sommets. — Supposons que par les sommets A du rhomboèdre primitif, on mène 6 plans tangents, qui nécessairement, seront également inclinés aux faces adjacentes.

On enveloppe ainsi le rhomboèdre **primitif** dans un nouveau solide, qui se trouvera précisément engendré conformément à la définition du rhomboèdre. Ce sera donc un nouveau rhomboèdre, mais plus obtus que celui auquel il est circonscrit; on lui a donné le nom de **rhomboèdre équiaxe** (*fig.* 26).

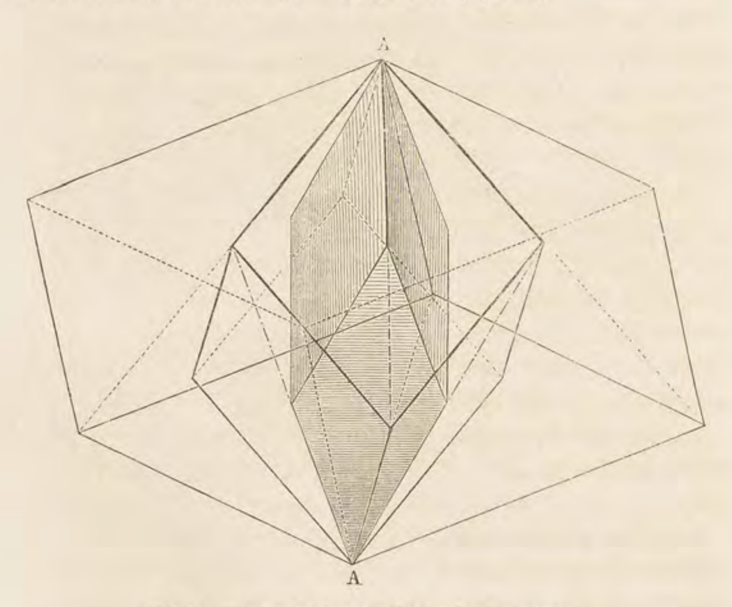


Fig. 26. — Rhomboèdre primitif, équiaxe et inverse.

Si, au lieu de circonscrire un rhomboèdre au primitif, on en inscrit un, de telle sorte que toutes les faces du primitif soient

tangentes aux arêtes du rhomboèdre inscrit, on aura encore mené par chaque sommet, trois plans également inclinés entre eux et également inclinés à l'axe; on aura construit le **rhomboèdre inverse,** plus aigu que le primitif.

On peut circonscrire un nouveau rhomboèdre encore plus obtus à l'équiaxe, en inscrire un encore plus aigu dans l'inverse; on obtiendra ainsi une série de rhomboèdres depuis les plus aigus jusqu'aux plus obtus.

Au lieu de plans tangents sur les arêtes on peut admettre des plans sécants, coupant à la fois les arêtes des sommets et les angles E, en passant par les milieux des arêtes en zig-zag; on obtiendra un **dodécaèdre bipyramidal** à triangles isocèles, égaux, dont six faces appartiendront aux faces primitives, ainsi qu'il est indiqué précédemment par la figure 25.

Les *modifications sur les* 6 *arêtes en zigzag* déterminent deux séries remarquables de solides : les prismes hexagonaux réguliers, et les scalénoèdres ou dodécaèdres métastatiques.

Supposons d'abord 6 plans tangents aux arêtes et parallèles à l'axe. Ces plans symétriquement disposés autour de l'axe et formant entre eux des angles de 120° détermineront un **prisme hexagonal régulier.**

Ce prisme pourra avoir pour sommets les trois plans formant l'angle trièdre du rhomboèdre primitif, ainsi que l'indique la figure 27. Quelquefois il sera terminé par des bases hori-

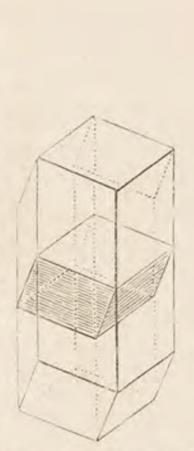


Fig. 27. — Prisme hexagonal régulier sur les arêtes du rhomboèdre.

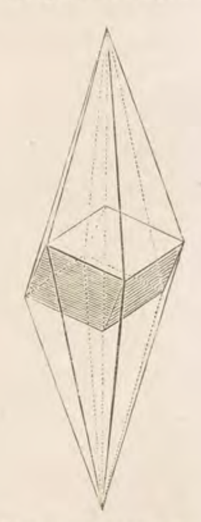


Fig. 28. — Scalénoèdre.

zontales, qui sont des troncatures sur les angles A des sommets.

Deux plans tangents formant un biseau sur chacune des arêtes en zigzag, formeront douze faces triangulaires scalènes, s'appuyant sur l'axe prolongé. Ce solide est le **scalénoèdre** ou **dodécaèdre métastatique** (*fig.* 28).

Comme on peut mener les plans formant les biseaux sous des angles variables, il existera plusieurs scalénoèdres.

Les *troncatures sur les deux angles des sommets* A donneront lieu à diverses modifications, suivant leur position, ainsi qu'il est indiqué par la figure 29.

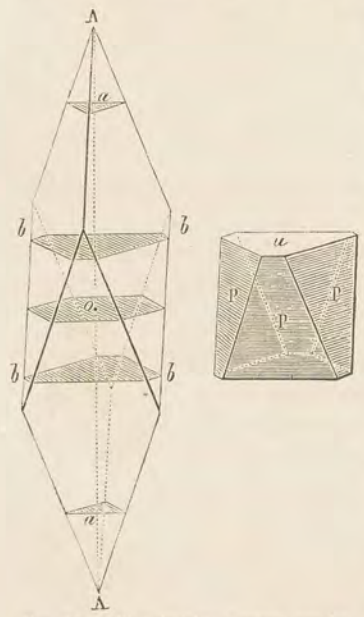


Fig. 29. — Rhomboèdre tronqué sur les angles A.

Deux troncatures simples, rapprochées des sommets, donneront des sections triangulaires équilatérales.

Lorsque les sections en se rapprochant du centre, commenceront à couper les arêtes en zigzag, elles donneront naissance à des hexagones irréguliers, présentant de deux en deux, trois arêtes longues et trois courtes. Il en résultera des rhomboèdres tronqués, dont la figure isolée *a*, P, P, P donne une idée précise.

Les troncatures, en se rapprochant beaucoup du centre, donneront à ces rhomboèdres tronqués, l'apparence de prismes hexagonaux très-aplatis ou tables hexagonales. La différence de ces tables avec celle des prismes hexagonaux, résultera de l'inclinaison inverse des pans.

Lorsque les troncatures simples des sommets se trouvent

associées aux prismes hexagonaux, elles déterminent les bases simples qui remplacent souvent les sommets trièdres du primitif.

Quelquefois aussi les cristaux rhomboédriques sont terminés par les pointements trièdres de rhomboèdres dérivés du primitif. Dans l'exemple représenté figure 30, les sommets sont formés par des rhomboèdres obtus qui coupent les faces du primitif jusqu'à la naissance des arêtes en zigzag, ce qui donne au cristal dérivé une apparence toute particulière.

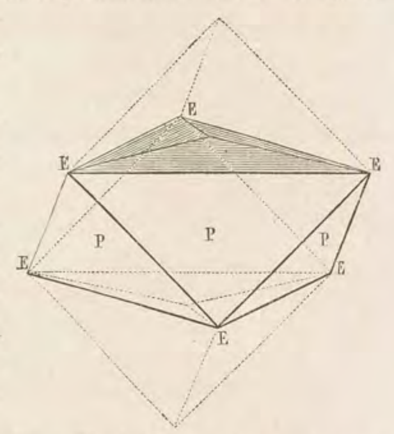
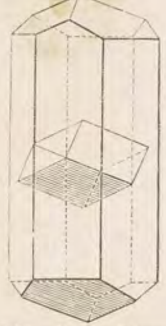


Fig. 30. Rhomboèdre tronqué par un pointement.

Les *modifications sur les six angles* E peuvent se faire, d'abord par des plans tangents parallèles à l'axe ; ce qui conduit évidemment à un prisme hexagonal régulier.

Le prisme hexagonal régulier déterminé par la troncature des angles se distingue de celui qui est obtenu par la modification des arêtes, au moyen des sommets. Supposons ces sommets formés par les faces du rhomboèdre primitif, si le prisme dérive des arêtes, ces arêtes forment l'intersection des faces du rhomboèdre avec celles du prisme (*fig.* 27) ; s'il est dérivé des angles, ces arêtes sont coupées et les intersections horizontales donnent aux faces des sommets la forme pentagonale (*fig.* 31).


Fig. 31. — Prisme hexagonal régulier placé sur les angles du rhomboèdre.

En se reportant à l'étude du rhomboèdre (*fig.* 25), on voit que le prisme sur les angles pourra être terminé par une double pyramide hexagonale, en combinant les sommets trièdes primitifs, avec les faces qui résultent des troncatures obliques sur les angles E.

Le prisme ainsi bipyramidé est représenté figure 32. Ces faces pouvant être plus ou moins développées, il en résultera pour les

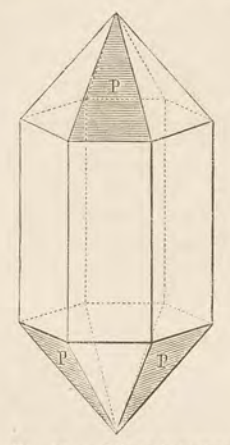


Fig. 32. — Prisme hexagonal régulier bipyramidé.

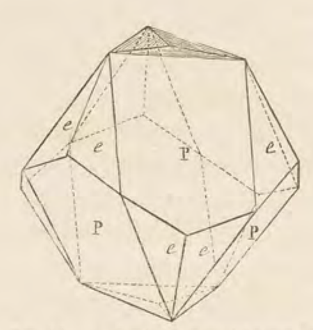


Fig. 33. — Rhomboèdre modifié sur les angles A et sur les angles E.

sommets des passages entre les sommets trièdres formés par le rhomboèdre et les sommets bipyramidés formés par la combinaison du prisme avec le dodécaèdre à triangles isocèles.

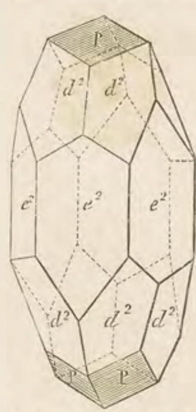


Fig. 34. — Réunion des faces du rhomboèdre, du scalénoèdre et du prisme hexagonal.

Dans certains cas, le corps du prisme se raccourcit et même disparaît, de sorte que les deux sommets accolés forment le dodécaèdre à triangles isocèles.

Les six angles E peuvent être modifiés par des biseaux, et la figure 33 indique une de ces modifications combinée avec la troncature des sommets par les faces d'un rhomboèdre surbaissé, ce qui détermine une forme des plus complexes, dérivée du rhomboèdre.

Les formes très-nombreuses qui dérivent du rhomboèdre peuvent se rattacher à trois types : les *rhomboèdres*, les *prismes hexago-naux réguliers* et les *scalénoèdres*.

Ces trois types présentent des caractères distincts et faciles à déterminer ; mais beaucoup de cristaux sont mixtes, de telle sorte que leur attribution à l'un des trois types reste indécise. Ainsi, le cristal représenté figure 34, a pour sommets le rhomboèdre, dont les faces sont raccordées aux faces d'un prisme hexagonal sur les angles e^2, par les faces d^2 d'un scalénoèdre.

5° SYSTÈME CRISTALLIN.

Trois axes obliques. Deux égaux. Un inégal.

PRISME RHOMBOIDAL OBLIQUE.

Le cinquième système cristallin, un des plus répandus parmi les espèces minérales, exige une étude spéciale. Ses éléments constituants sont :

2 angles A ; 2 angles O ; 4 angles E.
4 arêtes B ; 4 arêtes D (des bases).
2 arêtes H ; 2 arêtes G (du prisme).

Les trois faces sont P (les bases), M et M (les pans du prisme).

Dans le prisme rhomboïdal oblique qui sert de forme primitive au cinquième système cristallin, les bases sont des rhombes, leurs diagonales sont perpendiculaires entre elles, et le plan diagonal passant par les angles A, O, est perpendiculaire au plan de la base. La figure 35 met en évidence les propriétés de ce prisme rhomboïdal oblique.

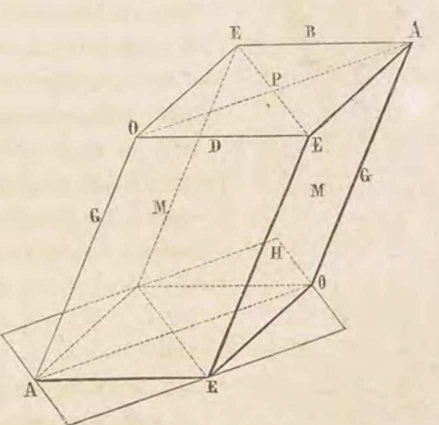


Fig. 35. — Prisme rhomboïdal oblique.

Il y a sept genres de modifications possibles, puisqu'il y a sept éléments d'espèces différentes; ces modifications peuvent être groupées comme il suit :

Modifications sur les angles A, O, E, *du prisme rhomboïdal oblique.*

Les angles E étant de même espèce, il peut en résulter sur chaque sommet du prisme, des facettes en nombre pair; des biseaux, si les modifications sont très-développées. La figure 36 indique ces biseaux.

Fig. 36. — Prisme rhomboïdal oblique avec biseaux sur les angles E.

Les angles A et O étant au contraire d'espèces différentes, peuvent être modifiés isolément; dès lors il peut en résulter des faces qui seront uniques sur la moitié du cristal.

Dans certains cristaux naturels, les faces sur les angles A deviennent dominantes et prennent l'importance qu'on est toujours tenté d'attribuer aux bases primitives P (*fig.* 37).

En combinant les bases primitives avec les modifications sur un des angles A ou O, on peut obtenir des sommets dièdres.

En combinant les biseaux E avec les bases, ou bien avec des faces placées sur l'un des angles uniques, on obtiendra des sommets trièdres.

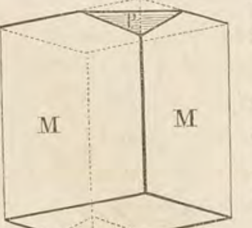


Fig. 37. — Prisme rhomboïdal oblique avec troncatures très-développées des angles A.

La modification simultanée des quatre angles conduirait à des sommets quadrangulaires, et si les faces atteignent le développement maximum, à des octaèdres obliques à base rhombe.

Les *modifications sur les arêtes des bases* compliquent singulièrement les sommets.

Sur chaque base, les arêtes de même espèce sont contiguës

et les troncatures qui viennent s'y placer font ressortir la dyssymétrie du cristal. Ces modifications ont souvent l'apparence de troncatures faites sur des angles, surtout lorsque les arêtes du prisme sont elles-mêmes modifiées, de telle sorte qu'on n'y distingue pas immédiatement les faces primitives des faces dérivées.

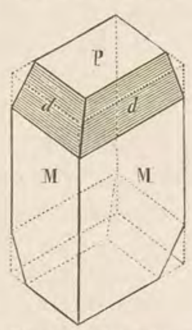


Fig. 38.— Troncatures sur les arêtes des bases D.

Les deux figures 38 et 39 représentent les sommets de prismes rhomboïdaux obliques, modifiés sur les arêtes D, par les facettes *d*. Dans la figure 36, les facettes naissantes donnent lieu à des sommets trièdres; dans la figure 37, le développemeut complet de ces facettes détermine des biseaux obliques.

Les modifications sur les arêtes du prisme rhomboïdal oblique, sont remarquables parce qu'elles procèdent par deux et qu'elles peuvent donner lieu à des prismes obliques à base hexagonale, octogonale, décagonale, etc.

Lorsque les modifications sur les arêtes G et H se produisent simultanément par des troncatures simples et parallèles aux diagonales, ces diagonales étant perpendiculaires entre elles, les faces nouvelles affectent la même disposition, de telle sorte qu'elles conduisent à des *prismes obliques à bases rectangulaires*.

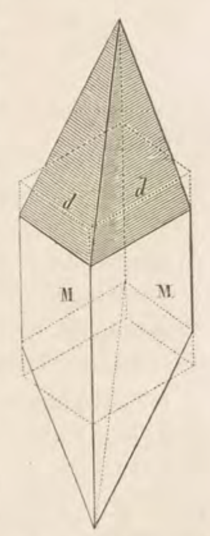


Fig. 39. — Biseau oblique résultant des troncatures D.

La figure 40 représente un prisme modifié à la fois sur les arêtes G, par deux larges troncatures; sur les angles A par des troncatures doubles.

Ces modifications sur les arêtes G, jointes à un grand développement des troncatures sur les angles A, suffisent pour donner à ces prismes obliques les apparences de prismes droits. Pour les reconnaître, il faut examiner les sommets où, presque toujours, on trouve comme sur la

figure 40, des modifications uniques sur les angles, qui indiquent la nature du cristal primitif.

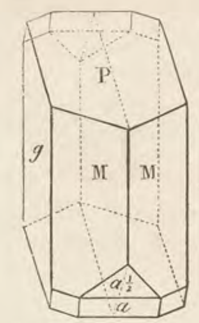


Fig. 40.— Prisme oblique rhomboïdal modifié sur les arêtes et sur les angles.

Les hémitropies, juxtapositions en sens inverse de deux demi-cristaux, sont fréquentes dans plusieurs espèces minérales qui appartiennent au cinquième système cristallin. Or, si ces hémitropies se produisent par le plan diagonal perpendiculaire aux bases, ces bases rapportées bout à bout présenteront des plans continus. L'hémitropie, dans ce cas, ne sera pas signalée par des angles rentrants, on ne la devinera que par les cassures transversales sur lesquelles les stries et les clivages pourront indiquer une séparation en deux parties symétriques.

6e SYSTÈME CRISTALLIN.

Trois axes obliques inégaux.

PRISME OBLIQUE NON SYMÉTRIQUE.

Ce dernier système, le moins symétrique de tous, se compose:

De 4 systèmes d'angles : A, E, I, O.

De 4 systèmes d'arêtes des bases : B, C, D, F.

De 2 systèmes d'arêtes du prisme : G, H.

Les faces primitives, au nombre de trois, sont désignées par les lettres P, M, T, sur la figure 41, qui indique également les dix éléments de cristal.

Il y a dix genres de modifications possibles, toutes deux à deux pour l'ensemble du cristal, et uniques lorsqu'on ne voit qu'un des sommets.

L'absence de symétrie est telle que les prismes dérivés de ce système conservent toujours leurs caractères distinctifs. Une seule modification sur une arête (*fig.* 41) ne se reproduisant que sur l'arête opposée, suffira pour faire reconnaître le sixième système cristallin.

Les modifications sur les angles laissent quelquefois dans l'indécision pour distinguer les cristaux dérivés des prismes obliques non symétriques, de ceux qui appartiennent au prisme oblique rhomboïdal; dans plusieurs cas, la distinction s'établit au moyen des fréquentes hémitropies qui se produisent par le plan diagonal.

Les diagonales des bases n'étant jamais perpendiculaires entre elles, puisque ces bases sont des parallélogrammes à côtés inégaux, les hémitropies lorsqu'elles se produisent, déterminent

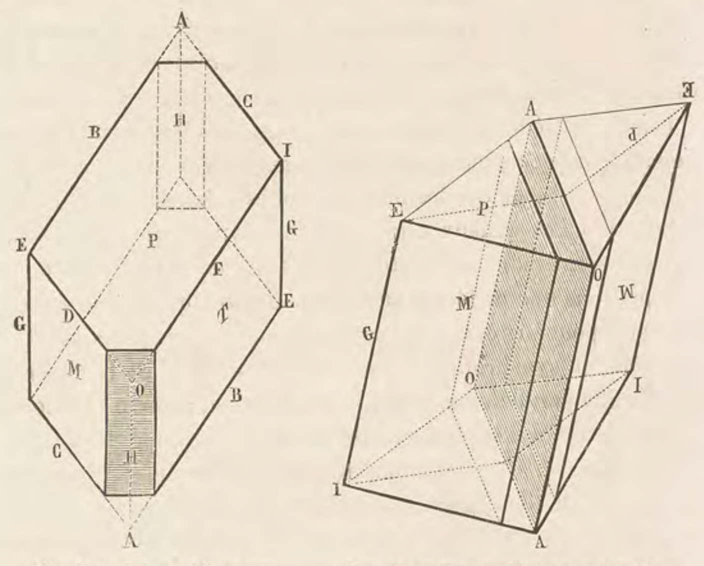


Fig. 41.— Prisme oblique non symétrique.

Fig. 42. — Prisme oblique non symétrique hémitrope.

nécessairement un angle rentrant sur l'une des bases. La figure 42 met cette propriété en évidence; l'angle rentrant est indiqué par la diagonale E, E, rompue par l'hémitropie.

Lorsque le cristal hémitrope est de forme aplatie, par l'intervention de deux profondes troncatures sur les arêtes G, troncatures parallèles au plan de rotation hémitrope, l'angle rentrant forme au sommet une sorte de gouttière étroite et caractéristique.

Le sixième système cristallin, par les modifications simulta-

nées des quatre angles A, E, I, O, peut donner naissance à des octaèdres non symétriques, à bases de parallélogrammes.

Théorie des décroissements.

Les règles de cristallisation auxquelles sont assujetties les substances minérales, doivent être la conséquence de lois générales qui déterminent les groupements moléculaires.

Les molécules sont infiniment petites, nous ne pouvons les discerner même avec les plus forts grossissements des microscopes; tout fragment discernable est toujours divisible, sans que les groupements moléculaires soient appréciables ; peut-être pouvons-nous les deviner.

Les six polyèdres prismatiques si souvent indiqués par les clivages et par la persistance de ces clivages dans tout fragment visible, donnent l'idée que les molécules elles-mêmes peuvent avoir cette forme. Les cristaux primitifs et dérivés ne seraient, dès lors, que des constructions symétriques faites avec ces molécules.

Supposons une molécule cubique : un cube, quelle que soit sa grosseur, peut être considéré comme formé par une juxtaposition régulière et symétrique de molécules cubiques. Si le minéral est clivable parallèlement aux faces du cube, comme la galène ou le sel gemme, cette hypothèse paraîtra toute naturelle.

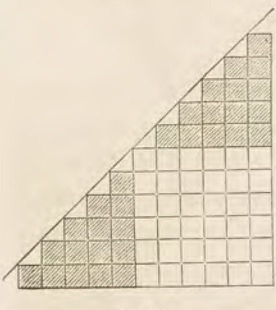


Fig. 43.

Un décroissement régulier d'une molécule sur les arêtes B, reviendrait à construire sur chaque face du cube une pyramide régulière à 45°, au moyen de la superposition de lames moléculaires présentant toujours une molécule en retrait. Or, il est facile de voir sur la figure 43 que cela revient à mener des plans tangents aux arêtes du cube, c'est-à-dire à construire un dodécaèdre rhomboïdal régulier.

Un décroissement d'une molécule sur deux, ainsi que l'indi-

que la figure 44, déterminera un biseau sur les arêtes et par conséquent conduira à un hexatétraèdre. Si l'on suppose le décroissement de 1 sur 3 (*fig.* 45), ou les décroissements mixtes de 2 sur 3, de 3 sur 4, etc., on obtiendra une série d'hexatétraèdres sous des angles différents.

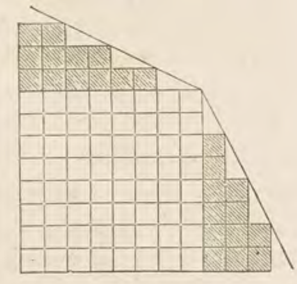


Fig. 44.

Les angles des hexatétraèdres qu'il est possible de construire de cette manière, auront nécessairement entre eux des rapports simples, 2, 3, 4 ou bien $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, etc. Or, ce sont précisément les rapports qui existent entre les angles de divers hexatétraèdres que présente une même substance.

Si, au lieu d'opérer les décroissements sur les arêtes, on les dispose sur les angles, on obtient les autres dérivés du cube.

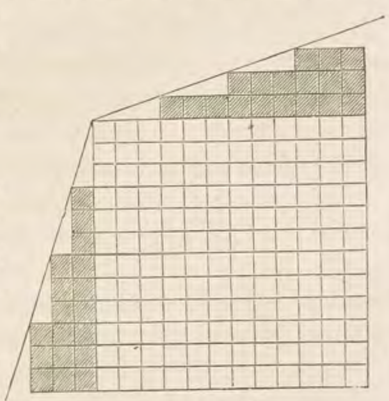


Fig. 45.

Un décroissement régulier d'une seule molécule en retrait, produit sur l'angle du cube la troncature également inclinée aux faces adjacentes qui détermine l'octaèdre. La figure 46 indique cette construction d'une troncature octaédrique sur l'angle d'un cube. Si l'on suppose le développement complet et supprimant les faces du cube on arrive à la construction de l'octaèdre avec une molécule cubique (*fig.* 47).

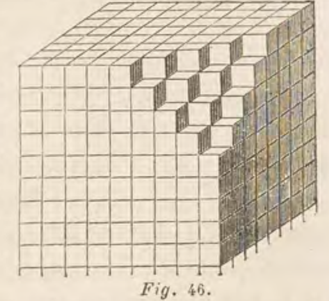


Fig. 46.

Un décroissement symétrique avec 2 ou 3 molécules en retrait,

produira sur chaque angle les pyramides surbaissées qui mènent aux divers trapézoèdres. Ces décroissements pourront aussi être mixtes, 2 sur 3, 3 sur 4, et donneront naissance à des séries de

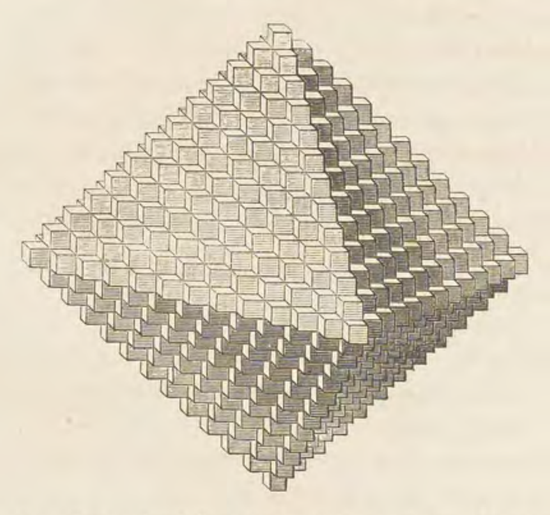


Fig. 47. — Construction de l'octaèdre regulier avec une molécule cubique.

trapézoèdres dont les angles auront entre eux les rapports qui résultent de ces groupements moléculaires.

On obtiendra les cristaux hémièdres par des constructions analogues. Ainsi, en modifiant les arêtes non plus par le biseau, mais par un seul décroissemeut de 1 sur 2, on produit le dodécaèdre pentagonal, qui est un demi-hexatétraèdre. Le tétraèdre, étant un demi-octaèdre, sera obtenu par le décroissement opéré sur 4 angles du cube pris de deux en deux.

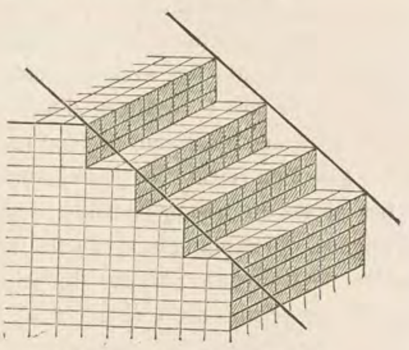
Cette théorie due aux recherches d'Haüy rend compte de toutes les dérivations du cube, de toutes les modifications, de toutes les valeurs d'angles.

Si les faces des cristaux et des troncatures, ainsi disposées en escaliers moléculaires, nous paraissent cependant lisses, c'est que les molécules sont infiniment petites.

Les constructions que l'on peut supposer faites avec des

molécules prismatiques, nous rendront compte de toutes les hypothèses de modifications précédemment exposées.

Examinons d'abord les prismes dont les axes sont rectangulaires.


Fig. 48. — Décroissement mixte.

L'hypothèse de constructions ou décroissements sur les arêtes nous donnera également des faces planes, si l'on suppose les molécules infiniment petites ; ainsi le décroissement mixte de 3 sur 2 représenté figure 48, sera une facette placée sur l'arête d'un prisme à base carrée ou à base rectangulaire, déterminant un sommet et conduisant à un octaèdre.

Les décroissements pourront de même être de 1 sur 2, 3, etc., soit dans le sens de la hauteur, soit dans le sens de la largeur ; ils pourront être mixtes, de 2 sur 3, 3 sur 4, etc. ; de manière à déterminer une série d'angles dont la valeur dépendra du rapport entre la base et la hauteur du prisme primitif.

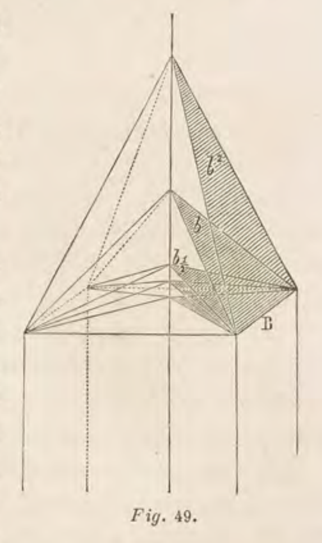


Fig. 49.

Parmi les angles nombreux que peuvent présenter les troncatures sur les arêtes d'un prisme, il existera donc un angle α, dont tous les autres seront des multiples ou des sous-multiples. Cet angle α indiqué par le sinus de l'angle que fait la diagonale d'une face du prisme avec l'arête de la base, exprimera ce que l'on appelle la *hauteur du prisme*. Cette hauteur peut

donc être déterminée par la comparaison des angles α, $2\ \alpha$, $3\ \alpha$, etc., $\frac{1}{2}\ \alpha$, $\frac{1}{3}\ \alpha$, $\frac{1}{4}\ \alpha$, etc., $\frac{2}{3}\ \alpha$, $\frac{3}{4}\ \alpha$, etc.

La figure 49 explique cette relation des angles, déterminée par les décroissements. Supposons que le prisme a pour hauteur le sinus de l'angle fait avec la base, par la face *b* placée sur l'arête B : la face *b* résultera d'un décroissement simple ; la face b^2 d'un décroissement de 2 en hauteur sur 1 en retrait ; la face $b\,\frac{1}{2}$ de 2 en retrait sur 1 en hauteur, et ainsi de suite.

Les arêtes du prisme peuvent présenter des décroissements analogues, qui expliquent toutes les transformations, parmi lesquelles se trouve le passage du prisme droit à base rectangulaire au prisme droit rhomboïdal, indiqué par la figure 50.

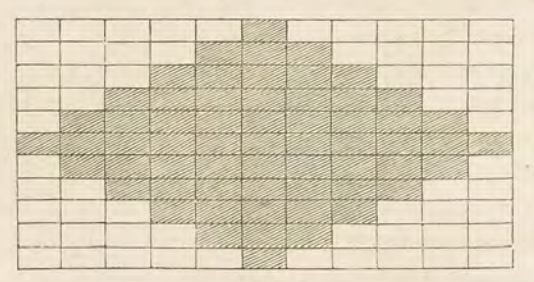
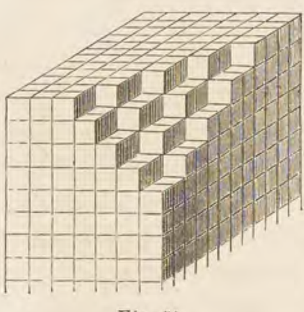


Fig. 50.

Si nous passons maintenant aux décroissements sur les angles, nous trouverons les mêmes explications de toutes les modifications, par des décroissements simples ou mixtes (*fig.* 51).



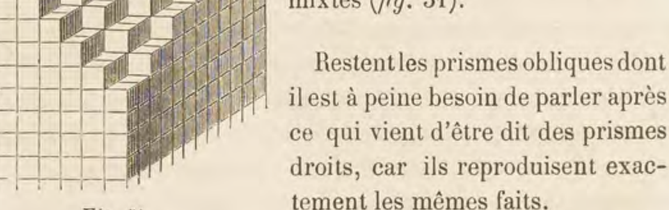


Fig. 51.

Restent les prismes obliques dont il est à peine besoin de parler après ce qui vient d'être dit des prismes droits, car ils reproduisent exactement les mêmes faits.

Ainsi la figure 52 représentera un décroissement mixte placé sur une arête; ces décroissements suivant les mêmes variations et déterminant les mêmes

relations d'angles que dans le cas des prismes rectangulaires.

Les modifications sur les arêtes des prismes se produisent dans les mêmes conditions que sur celles des bases ; les plus ordinaires déterminent des faces parallèles aux diagonales des bases, ainsi que l'indique la figure 53. Ces modifications peuvent d'ailleurs supprimer les faces primitives, ou les laisser subsister partiellement.

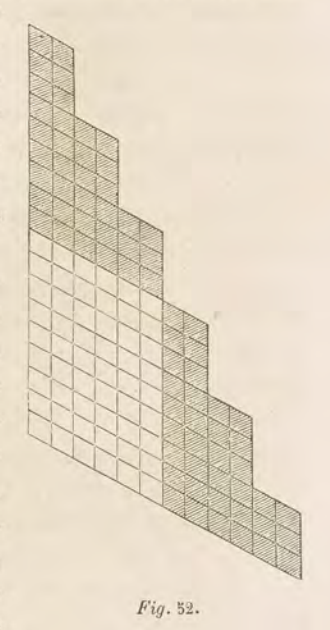


Fig. 52.

Les constructions du rhomboèdre présentent la même simplicité que celles des autres prismes. On obtient les rhomboèdres inverses équiaxes, les scalénoèdres métastatiques et les prismes hexagonaux par la méthode des décroissements, c'est-à-dire avec des constructions moléculaires. La figure 54, ci-après, explique la construction moléculaire d'un scalénoèdre métastatique par un décroissement de 1 sur 2, c'est-à-dire par un biseau placé sur les arêtes en zigzag.

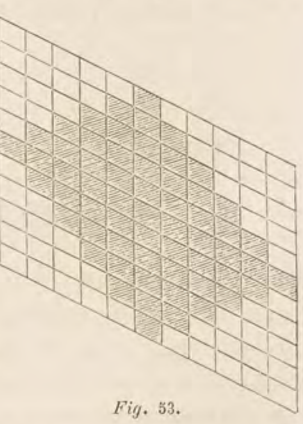


Fig. 53.

Cette hypothèse sur la formation et la dérivation des cristaux offre d'autant plus d'intérêt qu'elle rend compte de toutes les irrégularités, et notamment du développement inégal des faces. La formation des cristaux est en effet ramenée au dépôt successif de lames moléculaires qui se superposent, suivant les lois symétriques de chaque système cristallin.

On comprend dès lors que telles faces gênées dans leur dé-

veloppement soient amoindries, tandis que d'autres au contraire se dilatent parce que leur extension a été favorisée par le sens et les circonstances du dépôt. On comprend pourquoi les dimensions relatives des faces n'ont que peu d'importance, tandis que la valeur des angles est le caractère essentiel.

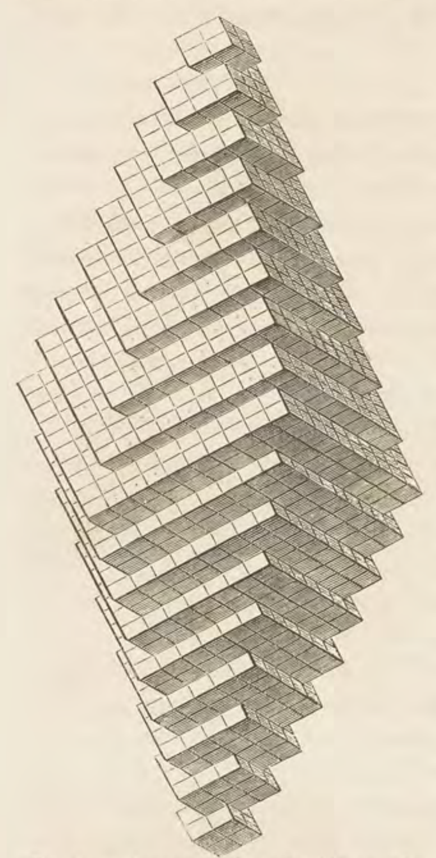


Fig. 54. — Construction du scalénoèdre avec le rhomboèdre primitif.

Un fait particulier démontre que les angles sont réellement limités à ceux qui peuvent être obtenus par les décroissements : le prisme à base rectangulaire peut être modifié géométriquement par des facettes tangentes aux arêtes du prisme, et également inclinées aux faces adjacentes M, T; ces faces nouvelles seraient inclinées de 45° sur chacune des faces, de telle sorte que leur prolongation jusqu'à la suppression des faces du prisme rectangulaire primitif donnerait lieu à une base carrée. Or ce dérivé est impossible en cristallographie : la facette également inclinée à deux faces adjacentes d'espèces différentes, n'existe pas; et conformément à la loi des décroissements, toute facette tangente aux arêtes du prisme droit rectangulaire, sera inégalement inclinée aux faces M et T.

La théorie des décroissements ou plutôt de la formation des cristaux par la juxtaposition de lames moléculaires explique également la multiplicité des groupements, mâcles, hémitropies, pénétrations de cristaux.

Chaque espèce minérale étant caractérisée par des angles spéciaux, une des conditions essentielles de la description des minéraux est de signaler ces angles.

Dans beaucoup de cas, les angles peuvent être appréciés par un simple coup d'œil; l'angle droit, l'angle de 120°, celui de 45°, se lisent en quelque sorte sur les cristaux aussi bien que sur le papier. D'autres, tels que celui de 105° qui caractérise les rhomboèdres de la chaux carbonatée, restent aussi dans la mémoire, et après un peu d'exercice, se lisent avec la même facilité.

Pour d'autres angles, tels que celui de 101° 40′ qui caractérise les clivages de la baryte sulfatée, celui de 113° qui appartient au gypse, etc., il faut avoir un moyen de vérification et l'on emploie dans ce but divers *goniomètres*.

Les goniomètres les plus exacts sont les goniomètres à réflexion. Dans la pratique, le goniomètre d'application est le plus commode; il donne la mesure des angles à $\frac{1}{2}$ degré près, exactitude généralement suffisante; il a de plus l'avantage de ne pas exiger des surfaces réfléchissantes.

La théorie des décroissements a conduit à une notation conventionnelle, des faces d'un cristal primitif et des faces produites par les diverses modifications sur les arêtes ou sur les angles, notation que nous avons déjà employée, en décrivant les dérivations des divers types cristallins.

Les faces primitives, qui sont toutes de même espèce pour le cube et le rhomboèdre, se noteront simplement P. Sur le prisme droit à base carrée et sur le prisme oblique à base rhombe, les bases conservent le signe P et les faces du prisme se désignent par M. Sur le prisme droit à base rectangulaire ou rhomboïdale, ainsi que sur le prisme oblique non symétrique, les bases étant

toujours désignées par P, les faces du prisme qui sont de deux espèces, sont désignées par M et par T.

Les trois consonnes initiales du mot PriMiTif, servent ainsi pour la désignation des faces.

Les angles, suivant qu'il y en a de 1, 2, 3 ou 4 espèces, sont désignés successivement par les quatre voyelles A, E, I, O.

Enfin les arêtes sont désignées par B, C, D, F, pour celles de la base; G et H pour celles du prisme.

Les faces dérivées produites sur les angles ou sur les arêtes sont indiquées par les petites lettres, correspondantes aux majuscules qui marquent les éléments primitifs; un indice 1, 2, 3 ou $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, ajouté à cette petite lettre, signale la valeur de l'angle, c'est-à-dire le décroissement qui est supposé avoir déterminé cette valeur.

Ainsi a^2, $a\,\frac{1}{2}$, indiquent des décroissements sur l'angle A du cristal primitif; b^2, $b\,\frac{1}{2}$, etc., indiquent des décroissements sur l'arête B.

CHAPITRE IV

APPLICATION DES LOIS DE LA CRISTALLOGRAPHIE AUX ESPÈCES MINÉRALES.

L'exposé qui précède ne contient que les principes de cristallographie, applicables aux minéraux cristallins ou cristallisés; ce n'est encore qu'une théorie dont il faut apprécier les réalités et les applications.

Lorsqu'en effet, après avoir étudié cette théorie, on vient à examiner les cristaux naturels, on serait tenté, au premier abord, de considérer comme illusoires une grande partie des règles établies.

On voit tout d'abord, en examinant les minéraux:

1° Que l'état cristallisé est exceptionnel;

2° Que les cristaux sont en général incomplets et ne présentent qu'une partie de leurs faces;

3° Que ces faces au lieu, d'affecter la symétrie de nos tracés et de nos modèles,'sont inégalement développées; de telle sorte qu'il en résulte de véritables déformations pour la plupart des cristaux.

Examinons sommairement les incertitudes qui peuvent résulter de ces trois éléments d'irrégularité.

L'état cristallisé est exceptionnel, mais il n'est pas rare, surtout dans les gîtes ou masses minérales exploitées comme minerais; dans ces gîtes, on trouve à l'état cristallin et cristallisé, les substances lithoïdes qui servent de gangues et les substances métallifères. Ces cristaux tapissent les parois de *druses* ou *géodes* assez nombreuses et de toutes dimensions.

Les roches les plus compactes contiennent également des cristaux dans leurs fissures, soit empâtés dans leur masse. Beaucoup de roches sont des agrégats de cristaux enchevêtrés. quelquefois assez volumineux, et d'autres fois visibles seulement à la loupe.

En résumé, si les cristaux sont peu répandus, ils le sont cependant assez pour qu'on puisse trouver des échantillons nombreux qui suffisent à la détermination des espèces.

Ces échantillons, d'après ce qui a été dit précédemment, ne présentent que par exception un développement cemplet. Cela résulte d'abord, de ce que les cristaux adhèrent généralement aux roches qui leur servent de support, de telle sorte qu'on n'en voit que la moitié et souvent encore moins.

Il faut donc, dans la pratique, s'habituer à reconnaître, et même à deviner les cristaux, en n'en voyant que la moitié au plus. Cela est beaucoup plus facile qu'on ne le croirait au premier abord. Lorsqu'on regarde, en effet, un cristal ou un modèle géométrique en bois, on ne voit jamais que la moitié de sa surface ; les tracés géométriques se complètent sur le papier par des lignes ponctuées, mais il est facile de voir que ces lignes n'ajoutent rien à l'expression du dessin. Dans un ouvrage récent, dont l'atlas peut être cité comme modèle, M. Des Cloizeaux a supprimé les ponctués, et les figures ne sont pas moins claires.

En procédant à l'examen des cristaux, on reconnaîtra que pour ceux qui dérivent du premier système cristallin, système sphéroédrique et éminemment symétrique, il suffit de voir un quart de leur surface pour les reconnaître immédiatement. Ainsi, que l'on cache la moitié des tracés géométriques, qui ne représentent eux-mêmes que la moitié des faces des cristaux, les divers types ne seront pas moins faciles à distinguer. Il en est de même du système rhomboédrique, ses dérivés, sans être sphéroédriques, sont aussi nettement signalés par les caractères spéciaux de leur symétrie.

Restent les quatre systèmes prismatiques. Les prismes adhérents aux roches par une de leurs bases, présentent en général un sommet complet. Or, si l'on se reporte aux lois de la

cristallographie, le sommet est précisément l'indicateur essentiel du système; des modifications quadruples, doubles ou simples, sur les angles ou sur les arêtes d'un sommet, suffiront pour lever tous les doutes.

Reste le troisième élément d'irrégularité et d'incertitude, le développement inégal des faces.

Ici il faut convenir que l'inconvénient est grave au point de vue d'une distinction facile et rapide des cristaux, et qu'il tend à altérer profondément leurs formes. Prenons un exemple : l'octaèdre régulier, si fortement caractérisé par sa construction, devient très-souvent cunéiforme, ainsi qu'il est indiqué figure 55, par la dilatation d'une ou deux de ses faces. Sous cette forme, il ressemble peu au type régulier; or toute substance cristallisant en octaèdres est sujette à cette déformation.

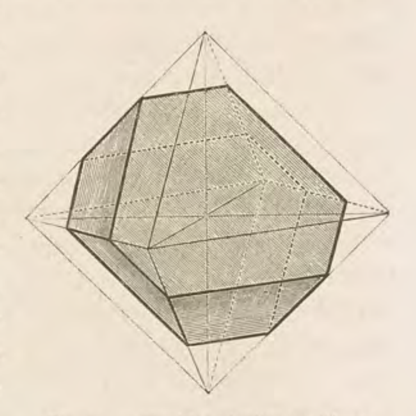


Fig. 55. — Octaèdre régulier cunéiforme.

Un cristal cubique de fer sulfuré présentera une large troncature octaédrique sur un de ses angles, des troncatures moins développées ou même nulles sur les autres; cela est naturel, car du moment où les faces peuvent avoir un développement inégal, ce développement peut se réduire jusqu'à devenir nul.

Des cristaux plus complexes, par exemple les prismes hexagonaux réguliers et pyramidés du quartz, présenteront deux faces opposées avec un développement tel, que ces prismes auront l'apparence de plaques ou lames aplaties, et non plus de prismes hexagonaux réguliers.

Dans les groupes prismatiques de quartz le plus régulièrement cristallisés, on trouvera encore d'autres altérations du type géométrique. Les faces des pyramides sont rarement égales: dans quelques prismes la dilatation de ces faces, de deux en deux,

s'explique par leur dérivation du rhomboèdre, mais dans d'autres une seule face domine toutes les autres et prend l'apparence de la base unique d'un prisme hexagonal oblique.

La figure 56 qui représente un cristal complet de quartz, est un exemple des altérations de la forme géométrique. Malgré ces altérations, on reconnaît encore assez facilement les faces du prisme hexagonal et celles des sommets pyramidés; on reconnaît surtout les angles caractéristiques. Ce prisme contient en outre à l'intérieur quelques détails de structure sur lesquels nous aurons à revenir.

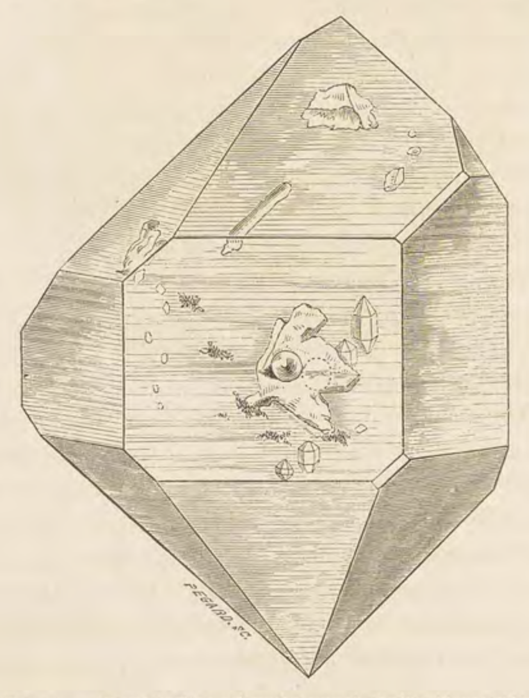


Fig. 56. — Quartz hyalin ; prisme hexagonal régulier bipyramidé.

Toutes ces irrégularités disparaissent si l'on se reporte à la théorie des décroissements. Les cristaux ne sont pas des formes uniques comme nous sommes toujours portés à le croire; ce sont des constructions moléculaires, des lames superposées suivant

certaines lois, et dont l'accroissement symétrique a pu présenter plusieurs périodes distinctes, sous des influences qui tendaient à faire varier leurs formes.

Il y a plus, les cristaux les plus volumineux nous apparaissent souvent, comme formés par le groupement et l'enchevêtrement de petits cristaux. Sur telles faces qui théoriquement devraient être planes et lisses, on voit en quelque sorte émerger des arêtes et des faces de cristaux plus petits et de formes semblables.

Un grenat dodécaèdre peut être supposé, formé par le groupement régulier d'une série de petits dodécaèdres; ce groupement est visible dans quelques échantillons dont la figure 57

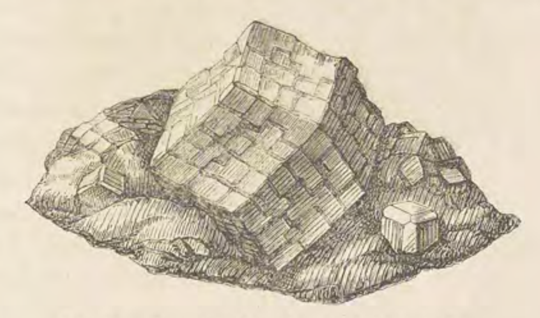


Fig. 57. — Grenat ; dodécaèdre rhomboïdal régulier.

donne un exemple. Les faces présentent une multitude de divisions qui indiquent l'accolement et l'enchevêtrement des cristaux partiels, et comme cet accolement des faces n'est pas toujours rigoureusement exact, le cristal d'ensemble présente des faces irrégulières, convexes ou concaves.

Un gros cristal de fer sulfuré, portion de dodécaèdre pentagonal détaché des roches de l'île d'Elbe, a été photographié avec réduction de moitié et reproduit avec soin figure 58. Les inégalités que présentent les faces sont, après sa forme, le caractère le plus saillant de ce cristal.

En examinant ces inégalités, on voit qu'elles appartiennent toutes à des saillies de dodécaèdres pentagonaux semblables entre eux et semblables au cristal total qui, dès lors, peut être

considéré comme formé par l'accolement d'une multitude de petits cristaux enchevêtrés. Tous ces petits cristaux symétriquement groupés par rapport aux mêmes axes, tendent à former un cristal unique, figure 58.



Fig. 58. — Fer sulfuré; dodécaèdre pentagonal.

Cette structure des cristaux par groupement, indiquée par une multitude d'échantillons analogues, se trouve confirmée par beaucoup d'observations faites sur les cristaux transparents. La figure 56, précédemment citée, représente un cristal de quartz très-hyalin, dessiné sur nature avec un grossissement de trois fois en diamètre, de manière à rendre bien sensibles les irrégularités visibles dans l'intérieur.

La principale de ces irrégularités est un vide rempli par un liquide dans lequel se meut une bulle d'air, suivant les positions que l'on donne au cristal : un ponctué indique le déplacement de la bulle. Ces cristaux, dits *quartz goutte d'eau*, sont assez rares ; cependant, toutes les collections en possèdent des spécimens analogues ; ils représentent des quartz hyalins cristallisés avec des vides intérieurs remplis ou non remplis. Dans l'échantillon dessiné, il y a plusieurs vides nettement in-

diqués, et ces vides, surtout les plus petits, présentent les contours très-nettement dessinés de cristaux de quartz.

La structure interne que nous supposions, se trouve ainsi confirmée. Or, du moment que les cristaux peuvent être considérés comme formés par le groupement d'une multitude de petits cristaux semblables, on s'explique leurs apparences d'irrégularité toujours d'autant plus prononcées que les cristaux sont plus volumineux.

Le groupement de petits cristaux pour en former de gros, donne aussi l'explication des *stries* qui se voient souvent sur les faces, et de certaines déformations des faces et des arêtes qui ne paraissent pas justifiées par le seul fait d'un développement inégal des faces.

Prenons encore le quartz pour exemple. Une portion de cristal (*fig.* 59) présente sur les faces du prisme une multitude de stries parallèles.

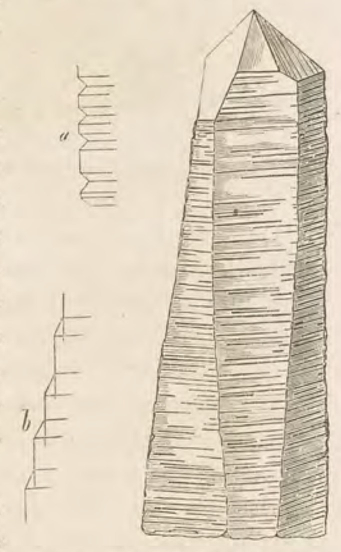


Fig. 59. — Quartz ; cristal à surfaces striées.

Non-seulement ces stries rendent les surfaces inégales, mais elles réagissent sur les arêtes, dont lignes courbes et brisées font varier la largeur des faces du prisme. Si on les examine attentivement à la loupe, on voit que les stries résultent de ce qu'à la face du prisme succède un commencement de la face correspondante de la pyramide, conformément aux tracés *a* et *b*.

Lorsque les stries affectent la disposition *b*, le cristal diminue en pointe, les arêtes du prisme se rapprochant à chaque strie ; lorsqu'elles s'effectuent suivant le tracé *a*, le cristal conserve ses proportions malgré les stries, mais les surfaces et les arêtes sont inégales.

Ainsi le cristal figure 59 est en réalité formé par le groupement d'une multitude de portions de cristaux. C'est une construction cristalline, démontrée d'une manière plus directe par un autre fragment de cristal de quartz, représenté figure 60.

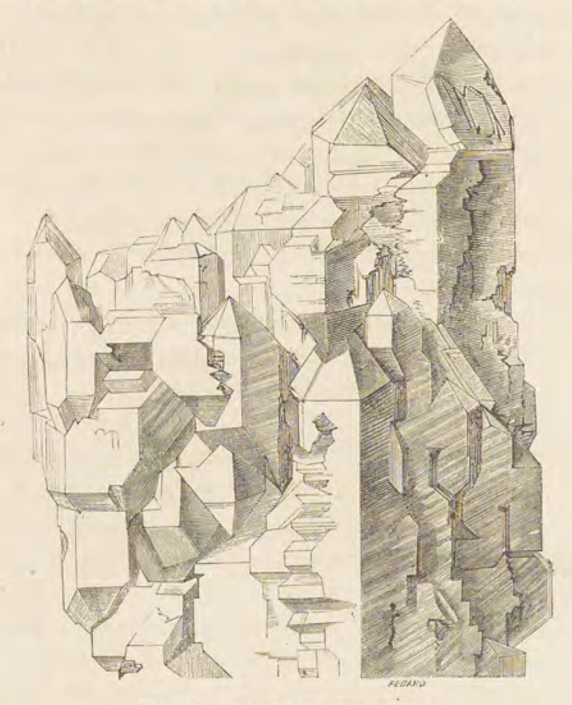


Fig. 60. — Quartz; cristaux groupés.

Ce fragment, qui comprend principalement deux faces du prisme hexagonal régulier, est évidemment le résultat d'un groupement dans lequel on retrouve les dispositions précitées.

Ces inégalités, ces groupements rendent souvent difficile la détermination des cristaux, mais ce qui reste comme fait cristallographique d'une rigoureuse exactitude, c'est la constance et la précision des angles.

Ainsi, toutes les fois qu'un cristal présente des faces assez lisses et assez miroitantes pour qu'on puisse mesurer les angles qu'elles

font entre elles, on trouve que ces angles sont constants et rigoureusement conformes aux tracés géométriques, quelles que soient d'ailleurs l'inégalité des faces et les déformations des cristaux.

Aux indications que fournissent les formes et les angles se joignent encore celles qui peuvent résulter de la structure cristalline, c'est-à-dire des clivages.

Les clivages servent non-seulement à distinguer les substances, mais à reconnaître sur un cristal la disposition géométrique des faces. En général, ils permettent de reconnaître les faces primitives des faces dérivées. Quelques stries dans tel ou tel sens, suffiront à la fois pour caractériser la substance et la disposition géométrique du cristal.

La cristallographie peut paraître aride dans son étude, mais elle offre un intérêt puissant dès qu'on arrive aux applications et dès que l'on peut apprécier les nombreux moyens d'analyse et de discernement qui peuvent en être déduits.

Si après ces études préliminaires, on examine une collection de minéralogie, on reconnaîtra au premier abord les six types cristallins, représentés par les espèces minérales qui fournissent les cristaux les plus répandus et les mieux formés.

1er SYSTÈME. **Cube.**	Sel gemme. Alun. Grenats. Diamant. Or. Argent. Cuivre. Bismuth. Cuivre oxydulé. Cuivre gris. Cobalt gris. Fer oxydulé. Fer sulfuré.
2e SYSTÈME. **Prisme droit à base carrée.**	Zircon. Apophyllite. Idocrase. Étain oxydé. Titane oxydé.
3e SYSTÈME. **Prisme droit à base rectangulaire.**	Soufre. Anhydrite. Topaze. Andalousite. Baryte sulfatée. Strontiane sulfatée. Plomb carbonaté. Plomb sulfaté. Zinc silicaté. Fer arsenical.
4e SYSTÈME. **Rhomboèdre.**	Corindon. Quartz. Chaux carbonatée. Magnésie carbonatée. Fer carbonaté. Zinc carbonaté.

5ᵉ SYSTÈME. **Prisme oblique à base rhombe.**	Borax. Soude sulfatée. Gypse. Pyroxène. Amphibole. Cuivre azurite. Feldspath orthose.
6ᵉ SYSTÈME. **Prisme oblique non symétrique.**	Cuivre sulfaté. Axinite. Disthène. Feldspath albite. Oligoclase. Labradorite.

En examinant ces diverses substances et cherchant à reconnaître leurs conditions de symétrie, on sera presque toujours aidé par les divers signes qui indiquent l'existence et la position des clivages.

Les substances possédant un, deux ou trois clivages, ou n'en possédant pas, ne se casseront pas de la même manière, et leurs fragments auront des formes toutes différentes.

Prenant pour exemple un groupe de rhomboèdres avec

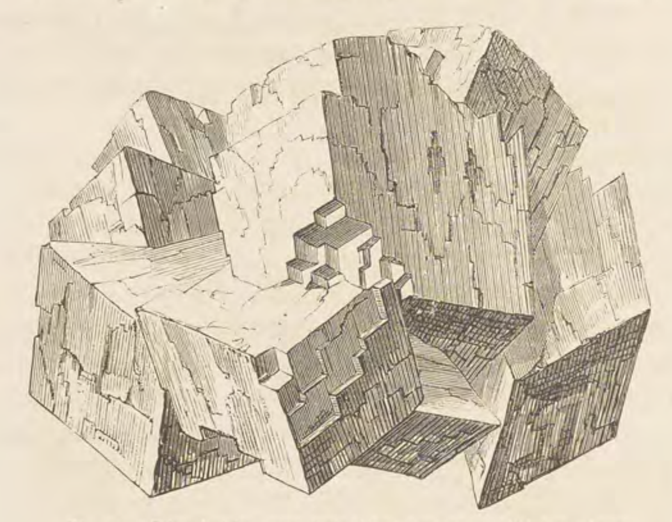


Fig. 61. — Rhomboèdres avec trois clivages egaux parallèles aux faces.

trois clivages égaux, parallèles aux faces (*fig.* 61) : les cassures et les stries indiqueront de suite ces clivages.

Souvent les clivages sont ainsi indiqués par les cassures des

échantillons; mais lorsqu'on peut soi-même faire des cassures, on les reconnaît encore mieux, et l'on distinguera, en ne tenant compte que des clivages faciles :

Point de clivages.	Quartz. Andalousite. Tourmaline. Grenats. Amphigène. Fer oxydulé. Fer oligiste. Pyrite de fer. Pyrite cuivreuse. Cuivre gris. Cobalt arsenical. Argent sulfuré.
1. Clivage facile.	Micas. Chlorites. Labradorite. Disthène. Hypersthène. Diallage. Antimoine sulfuré. Wolfram. Pyrite magnétique.
2. Clivages faciles.	Amphiboles. Orthose. Albite. Oligoclase.
3. Clivages faciles.	Anhydrite. Cryolite. Sel gemme. Spath calcaire. Baryte sulfatée. Strontiane sulfatée. Gypse. Galène. Fer spathique.
4. Clivages faciles.	Spath fluor. Diamant.

L'absence ou le nombre des clivages faciles ne sont pas les seuls caractères qui puissent être mis à profit pour la distinction des espèces; la plus ou moins grande facilité de ces clivages, leur égalité ou leur inégalité, l'existence des clivages difficiles et faiblement indiqués, dont ce tableau fait abstraction, les angles que font entre eux ces divers clivages, fournissent des moyens précieux de détermination.

Enfin, lorsque les cassures ne mettent pas de clivage en évidence, elles ont des caractères différents et quelquefois tellement spéciaux, qu'il en résulte de nouveaux moyens d'appréciation. Ainsi une substance non clivable aura une cassure plus ou moins lisse, conchoïdale ou inégale ; elle aura une cassure arrachée, grenue ou céroïde, quelquefois striée. Ces caractères, lorsqu'ils sont nettement exprimés, valent souvent ceux qui résultent des clivages.

Comment les cristaux se sont-ils formés, quelles sont les causes des formes souvent si diverses d'une espèce minérale?

La géométrie cristallographique démontre que des six formes primitives, peuvent dériver les nombreux cristaux que présentent les minéraux ; mais elle ne rend pas compte des phénomènes de la cristallisation. On ne peut admettre la formation d'un cristal primitif dont les angles ou les arêtes seraient modifiés par des troncatures, et pour se rendre compte des phénomènes de la cristalllisation, le seul moyen rationnel est d'étudier ceux qui peuvent se produire à volonté dans les laboratoires et les fabriques de produits chimiques.

Depuis longtemps on a étudié les phénomènes de la cristallisation par voie humide, c'est-à-dire par l'évaporation de dissolutions concentrées; les expériences de Le Blanc et de Beudant ont prouvé que toutes les lois de la cristallographie pouvaient être ainsi mises en évidence.

Haüy avait déjà signalé plusieurs de ces lois, notamment par la cristallisation du sel gemme.

Ce sel cristallise facilement en cubes avec trois clivages égaux et perpendiculaires. Lorsqu'on opère par évaporation comme

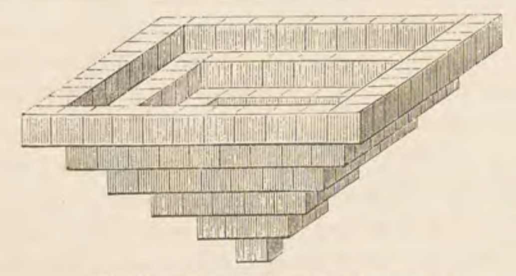


Fig. 69. — Trémie cubique du sel gemme.

dans la plupart des salines, il se forme d'abord un cube à la surface du bain chauffé; ce cube, arrivé à une certaine grosseur, s'enfonce, et d'autres cubes viennent l'encadrer en se soudant sur les arêtes supérieures et laissant un vide à l'intérieur. Lorsque cet encadrement a atteint des dimensions telles que l'ensemble

descend, il s'en ajoute un nouveau sur les arêtes supérieures. Le travail se continue ainsi en s'enfonçant au-dessous du niveau d'évaporation et se chargeant d'encadrements cubiques de manière à former ce que l'on appelle des *trémies* (*fig.* 62).

Ces trémies sont des constructions cubiques, qui ont l'apparence de moitiés d'octaèdres évidés à l'intérieur.

Cette première expérience a prouvé que l'on pouvait obtenir par la cristallisation des octaèdres formés de molécules cubiques, et que la nature opérait dans certains cas, comme nous l'avons fait précédemment par des constructions géométriques de molécules primitives.

Plus tard, cette première étude d'Haüy a été poussée plus loin, et M. Beudant a reconnu qu'en changeant la nature des eaux mères, on obtenait des cristaux dérivés au lieu du cube.

C'est surtout la cristallisation de l'alun qui se prête aux expériences de ce genre, et qui a permis de suivre dans tous leurs détails les phénomènes, de la formation et du développement des cristaux. Cette cristallisation par l'évaporation lente et spontanée d'une dissolution saturée, met en évidence les moyens dont la nature a pu se servir pour former, accroître et modifier les cristaux.

Une dissolution de pureté ordinaire, fournit des octaèdres réguliers, ou plutôt des groupements octaédriques, dans lesquels les divers cristaux présentent des faces plus ou moins dilatées aux dépens d'autres faces, mais dont l'angle caractéristique atteste la dérivation du système cubique.

Si l'on dégage un de ces octaèdres et qu'on le place dans la dissolution, en ayant soin de le faire reposer sur une des faces les plus larges et qu'on ne veut pas développer, on verra le cristal augmenter de grosseur par la superposition successive de lames cristallines; dès lors, en retournant le cristal de temps en temps, de manière à régler son accroissement, et même en ayant soin d'enduire d'un corps gras les faces dont on veut empêcher le développement, on arrivera à obtenir de gros octaèdres parfaitement régulier.

Ces octaèdres ainsi développés par l'addition successive de lames superposées, démontrent bien que les cristaux peuvent être considérés comme formés par la superposition de lames moléculaires, conformément à la théorie d'Haüy.

Si l'on prend un cristal octaèdre et qu'on le plonge dans des eaux mères, dans lesquelles on a ajouté de l'acide borique à l'alun, l'accroissement du cristal ne se fait plus de la même manière et sur les angles de l'octaèdre on voit se développer les faces du cube ; en continuant l'opération pendant le temps nécessaire on aura transformé le noyau octaédrique en cube. Il se produit donc sur les angles de véritables décroissements symétriques, et c'est la nature des eaux mères qui détermine cette transformation.

En colorant successivement les eaux mères de plusieurs teintes, on verra parfaitement les superpositions de lames moléculaires se succéder avec les décroissements qui produisent les facettes dérivées.

M. Beudant a démontré de même, par ses expériences de cristallisation, que l'alun cubique pouvait être obtenu par l'addition de quelques gouttes de carbonate de potasse ou d'ammoniaque à la dissolution ; il a obtenu des dodécaèdres rhomboïdaux et des trapézoèdres, de solutions saturées en vases clos, à une température supérieure à 100 degrés.

Toutes ces formes dérivées de l'octaèdre, ne sont donc que des groupements différents, formés par les molécules de l'alun, conformément à la théorie des décroissements d'Haüy. On est donc amené à conclure, que les cristaux nombreux, dérivés et modifiés de toutes les espèces minérales, ne sont, que des groupements formés par les molécules primitives.

Parmi les sels qui cristallisent facilement et peuvent le mieux se prêter à ces expériences, citons encore le sulfate de cuivre, d'autant plus intéressant qu'il appartient au système du prisme oblique non symétrique, et qu'on peut obtenir des cristaux simples ou modifiés, en faisant varier la composition des eaux mères.

Le cristal représenté figure 63, est un prisme oblique non symétrique de sulfate de cuivre, modifié par des troncatures

caractéristiques *i* et *h*, sur les angles I et sur les arêtes H.

Dans les cristallisations naturelles comme dans celles des laboratoires, plus un cristal est volumineux, plus en général il est imparfait; non-seulement les faces sont inégalement développées, mais elles ont une tendance marquée à présenter des surfaces irrégulières par suite de stries et de saillies qui démontrent que ces gros cristaux résultent des groupements de cristaux similaires.

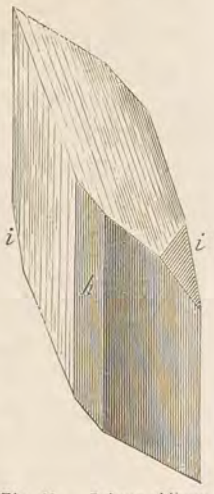


Fig. 63.— Prisme oblique non symétrique du sulfate de cuivre.

Les stries, les formes naissantes qui semblent, ainsi que nous l'avons dit pour les cristaux naturels, émerger des faces planes des gros cristaux, indiquent que ces cristaux sont bien réellement composés par le groupement et l'enchevêtrement de cristaux plus ou moins parfaits ou rudimentaires.

Toutes ces expériences tendent à prouver que les molécules cristallines constituent, par leurs groupements, les cristaux simples ou dérivés; que les formes les plus complexes peuvent être considérées comme déterminées par la superposition de lames moléculaires décroissantes.

Le groupe naturel des cristaux de chaux carbonatée, dessiné figure 64, est une démonstration nouvelle de cette construction moléculaire.

Ces cristaux sont des rhomboèdres primitifs, indiqués par les clivages, sous l'angle de 105 degrés, modifiés sur les arêtes des sommets par des troncatures striées. La disposition des stries indique clairement qu'elles sont formées par le décroissement de lames moléculaires superposées. La superposition de ces lames décroissantes, peut supprimer les faces des rhomboèdres primitifs, et déterminer la construction de rhomboèdres équiaxes.

Ces constructions, dont on retrouve beaucoup d'exemples dans les cristallisations artificielles, expliquent encore les apparences d'irrégularité des cristaux.

Certains cristaux, surtout parmi les gros, présentent une modification sur un angle ou une arête, tandis que sur un autre angle ou arête de même espèce la même modification ne se trouve pas reproduite. C'est que les angles ou arêtes n'appartiennent

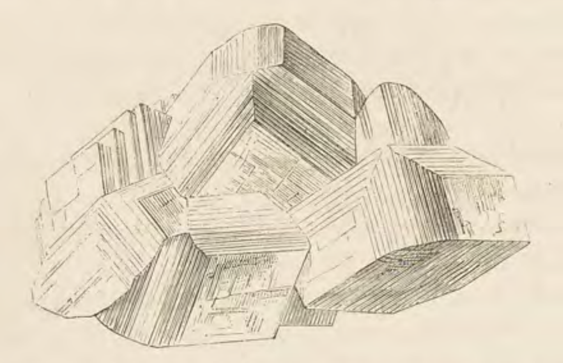


Fig. 64. — Spath calcaire; rhomboèdres primitifs avec décroissements conduisant à l'équiaxe.

réellement pas au même individu cristallin et que les causes génératrices n'agissaient pas identiquement sur les points diversement caractérisés ; ce qui explique que ce sont principalement les gros cristaux qui offrent ces anomalies, tandis que les plus petits sont beaucoup plus réguliers.

Les groupements et enchevêtrements de cristaux suivent eux-mêmes des lois qui attestent la constante régularité de toutes les constructions cristallographiques. Tantôt ce sont des emboîtements sur les sommets qui leur donnent une apparence columnaire avec un seul sommet, et subordonnent ainsi le groupement à un axe commun ; d'autres fois ce sont des accolements latéraux, de telle sorte qu'il se présente une multitude d'axes parallèles.

En résumé, si l'on compare les cristaux naturels aux cristallisations qui s'opèrent journellement dans les laboratoires et dans les fabriques de produits chimiques, on trouve des spécimens de tous les systèmes cristallins et l'explication de la plupart des groupements, modifications et transformations.

Cependant les cristallisations obtenues par voie humide ne rendent pas la comparaison complétement satisfaisante, et plusieurs savants ont cherché à reproduire dans les laboratoires les moyens que la nature peut avoir employés pour former les cristaux par voie sèche.

Ces moyens sont évidemment très-variables et très-complexes. Lorsque nous trouvons dans les argiles salifères ou dans les couches gypseuses, des cristaux de gypse, identiques à ceux qui se forment dans certaines eaux mères de nos salines abandonnées à une lente évaporation, nous ne doutons pas que ces cristaux de gypse n'aient été formés par voie humide. La chaux carbonatée soluble dans des eaux chargées d'acide carbonique, peut avoir cristallisé dans des conditions analogues.

Lorsque nous voyons couler des laves volcaniques, qui, refroidies subitement, laissent une roche vitreuse, mais qui, refroidies en masse et très-lentement, nous présentent des cristaux de pyroxène, de feldspath, etc., nous sommes conduits à attribuer à la voie sèche la formation des cristaux de beaucoup de substances que nous trouvons empâtées dans les mêmes conditions.

Les fissures volcaniques se tapissent, en quelque sorte sous nos yeux, de cristaux de fer oligiste, de pyroxène, de soufre, etc. Ce sont encore des cristaux formés par la voie sèche, mais avec cette différence, que parmi les vapeurs qui servent ainsi de véhicule aux éléments qui ont cristallisé, la vapeur d'eau joue un rôle important, et que, parmi les substances cristallines déposées de cette manière dans les fissures des roches, il y a des substances hydratées.

On a fait cristalliser des silicates et même des oxydes presque infusibles, tels que le corindon et le quartz, en dissolvant dans de l'acide borique ou dans de l'acide phosphorique, les substances propres à former certains minéraux et faisant volatiliser le dissolvant à de hautes températures. On a obtenu divers cristaux de substances réputées insolubles, en faisant réagir à une température élevée, un courant de vapeur d'eau sur des chlorures et des fluorures, ce qui représente encore

un procédé par voie sèche. Enfin on a reproduit les phénomènes des sources thermales, en dissolvant dans l'acide carbonique, sous des pressions très-élevées, les substances réputées insolubles, telles que le quartz, la baryte sulfatée, le fer carbonaté, etc., et les faisant cristalliser.

Toutes ces expériences n'ont guère fourni que des cristaux microscopiques, mais l'identité de ces cristaux avec ceux de nos filons démontre que la nature a pu employer des moyens analogues.

Les phénomènes qui ont donné naissance aux cristaux de substances réputées insolubles ou infusibles ne peuvent être, en effet, bien différents de ceux qui ont été essayés dans nos laboratoires et qui ont fourni des cristaux de même forme. Ce qui distingue surtout les cristaux naturels, ce sont leurs dimensions et souvent leur transparence, mais la nature a opéré dans des conditions de temps, d'élévation de température ou de pression, que nous ne pouvons reproduire.

Les cristaux produits par les moyens d'ailleurs très-divers de la voie sèche, peuvent-ils être considérés comme formés de même que les cristaux produits par voie humide, c'est-à-dire par les superpositions de lames moléculaires, et modifiés par des décroissements.

Il serait difficile d'admettre deux théories de cristallisation, l'une pour la voie humide et l'autre pour la voie sèche. Nous trouvons d'ailleurs, dans l'examen des cristaux naturels et résultant de phénomènes métamorphiques des preuves directes du même mode de formation.

Le fer oxydulé, substance des plus dures et sans clivages, se trouve dans certaines roches métamorphiques en octaèdres réguliers, complets et très-nets. Ces octaèdres sont petits, à cassure compacte et brillante ; leur caractère d'homogénéité et d'unité est tel, qu'on n'est guère disposé à considérer ces cristaux comme formés de lames moléculaires et susceptibles de modifications par décroissements. Cependant on trouve à Traverselle, dans le Val d'Aoste, des octaèdres surchargés de

stries, et passant par la superposition de lames moléculaires décroissantes, à des octaèdres émarginés sur les arêtes (*fig.* 65).

Si l'on suppose les décroissements complets, les faces de l'octaèdre seront supprimées, et l'on arrive au dodécaèdre rhomboïdal régulier, strié sur les faces, ainsi que l'indique la figure 66.

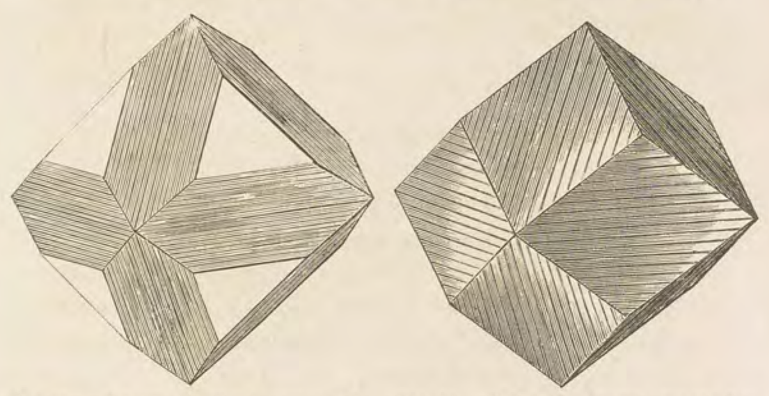


Fig. 65. — Octaèdre régulier émarginé, strié. *Fig.* 66. — Dodécaèdre rhomboïdal régulier, strié.

Tels sont, en effet, les caractères des dodécaèdres qui se trouvent aussi dans les gîtes de Traverselle (*fig.* 67).

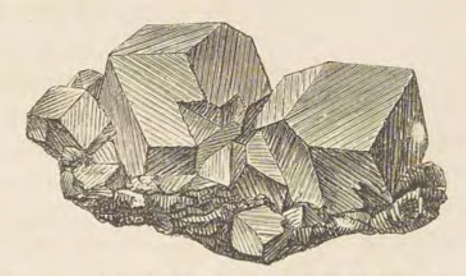


Fig. 67. — Fer oxydulé ; dodécaèdres rhomboïdaux striés.

Ce groupe de dodécaèdres, dessiné d'après nature, porte les stries indiquées par la figure théorique et démontre leur formation par décroissements sur les faces de l'octaèdre primitif.

Beaucoup d'autres espèces minérales présentent des cristaux avec les mêmes stries d'accroissement. Citons les grenats, sub-

stances sans clivages, dont les cristaux en dodécaèdres rhomboïdaux se trouvent empâtés dans des roches métamorphiques ou trappéennes, avec les caractères d'unité les plus complets.

Les dodécaèdres rhomboïdaux des grenats sont souvent émarginés sur les arêtes, conformément au tracé figure 68.

Nous trouvons dans les roches méthamorphiques d'Ala et de Brosso, dans les fissures qui avoisinent les roches trappéennes,

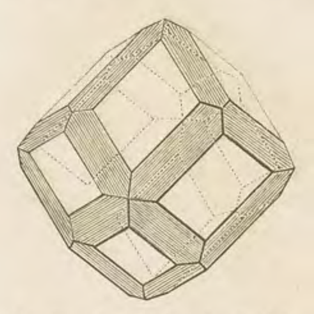


Fig. 68. — Dodécaèdre rhomboïdal émarginé.

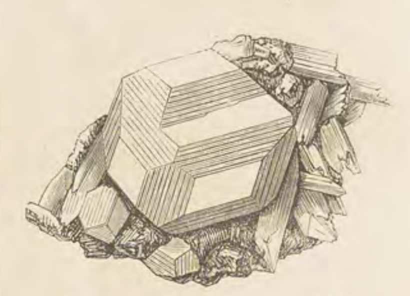


Fig. 69. — Grenats émarginés d'Ala.

des cristaux de grenats, qui présentent ces mêmes facettes émarginées (*fig.* 69).

Ces facettes portent toutes des stries de décroissement, de sorte qu'il suffirait, dans l'exemple dessiné, de continuer la superposition des lames moléculaires pour faire disparaître les faces primitives et transformer les cristaux.



Fig. 70. — Épidote ; prisme bacillaire.

Les substances prismatiques ont souvent cristallisé en prismes bacillaires, c'est-à-dire en faisceaux de prismes accolés parallèlement.

Ainsi les cristaux d'épidote représentés figure 70, sont des prismes rhomboïdaux obliques, modifiés sur leurs sommets. La netteté de ces sommets semble indiquer des cristaux uniques ; mais les pans des prismes sont striés et même cannelés, de

manière à représenter des faisceaux de prismes accolés, dont les sommets se raccordent.

L'unité des sommets donne ici un caractère déterminable aux cristaux, mais souvent les cristaux s'accolent de manière à former des faisceaux de prismes distincts. Le peroxyde de manganèse (*fig.* 71), en est un exemple. Ce sont des prismes bacil-

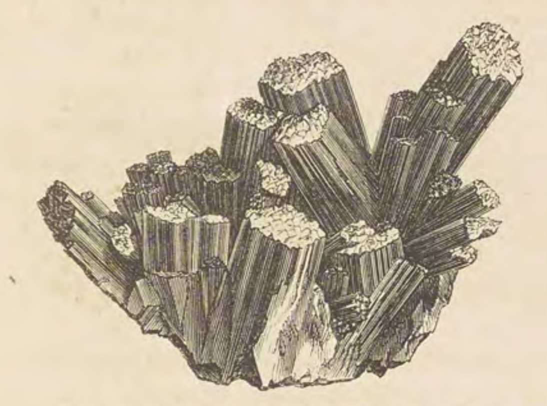


Fig. 71. — Manganèse peroxydé en prismes bacillaires.

laires, cylindroïdes et sans formes caractérisées; les sommets sont dièdres, mais tellement multiples, que leur accolement détermine des surfaces hérissées de biseaux.

Des groupements un peu plus réguliers et plus complets auraient suffi pour produire des cristaux faciles à déterminer; mais, tels qu'ils sont, ces groupements démontrent mieux l'accroissement des cristaux prismatiques par juxta-position, et le caractère des stries qui se rencontrent sur presque tous les prismes volumineux.

Parmi les structures qui résultent des tendances à cristalliser, une des plus remarquables est la structure dendritique. Les dendrites se forment quelquefois par la cristallisation de substances octaédriques, telles que l'argent natif et le cuivre natif, dont les cristaux sont disposés en groupes arborescents; d'autres fois on trouve, dans les fissures de certaines roches, des dendrites cristallines dont la figure 72 donne un exemple. Ce

sont des cristallisations confuses de peroxyde de manganèse, qui se détachent en noir sur le fond blanc d'une roche feldspathique de l'île d'Elbe.

Ces dendrites sont fréquentes dans toutes les roches fissurées : on ne peut pas toujours les rattacher à des phénomènes de cristallisation, notamment celles qui abondent dans les calcaires jurassiques et dans certaines argiles; cependant il est difficile d'en trouver une autre explication.

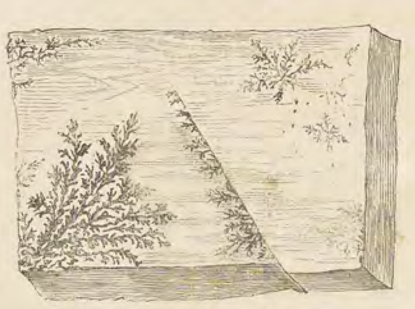


Fig. 72. — Dendrites cristallines.

En assimilant les cristaux naturels à ceux que nous voyons se former, en admettant que les fissures du sol ou les fentes des filons ont été parcourues par des vapeurs qui ont déposé des cristaux sur les parois et rempli les vides, nous trouvons la confirmation des lois cristallographiques. Nous voyons pourquoi les cristaux les plus petits sont ceux qui ont le plus d'unité, de transparence et de pureté; nous reconnaissons les stries d'accroissement, les variations de pureté par suite de mélanges intervenus pendant la formation du cristal, mélanges souvent indiqués par l'interposition de substances étrangères; nous voyons la cristallisation commencer par une forme et le cristal se modifier par des influences nouvelles; nous voyons enfin les substances déposées changer de nature, par suite du changement des vapeurs mères ou des eaux mères.

Lorsque les cristaux sont empâtés dans des roches solides, à tissu lâche et poreux, qui ont servi en quelque sorte de milieux mères; nous comprenons qu'ils ont dû s'y développer par l'effet d'attractions moléculaires.

C'est ainsi que, dans certains tufs ou travertins, se sont formés des cristaux complets de quartz à deux sommets, quelquefois d'une perfection remarquable. Le fer oxydulé, le fer sulfuré,

les grenats se rencontrent aussi dans des roches argileuses; les amphigènes, les amphiboles et les pyroxènes sont de même en cristaux complets dans des masses scoriacées ou des tufs volcaniques d'où ils se dégagent facilement. Les cristaux de ces provenances ont, en général, les angles nets dans le calcaire, mais émoussés dans les roches argileuses; ils sont moins purs et moins transparents que ceux des druses cristallines. Le mouvement moléculaire qui s'est effectué dans ces milieux terreux a souvent entraîné des substances étrangères. C'est ainsi qu'on trouve, dans des cristaux de pyroxène et d'amphibole, des grains amorphes ou cristallins, appartenant à d'autres substances, telles que du mica, de l'oxyde de fer, de l'argile, du quartz, etc. C'est ainsi que l'on trouve du talc dans les cristaux de fer oxydulé, et qu'il existe, dans la chaux carbonatée de Fontainebleau, 30 et jusqu'à 50 p. 100 de grains quartzeux entraînés mécaniquement par le mouvement de la cristallisation.

L'interposition de matières étrangères tend à amoindrir et même à supprimer les clivages; ils ont disparu, par exemple, dans la chaux carbonatée quartzifère de Fontainebleau. D'autres fois, ces interpositions, insérées entre les lames moléculaires, déterminent, au contraire, des apparences de clivages dans des substances qui n'en ont pas, comme, par exemple, dans les cristaux striés du fer oxydulé de Traverselle.

Les cristaux empâtés, mais adhérents, se montrent en abondance dans les roches éruptives et dans les roches métamorphiques.

Ces cristaux, formés, ainsi que nous l'avons dit pour les laves, par un refroidissement très-lent des masses éruptives, peuvent être quelquefois dégagés, lorsque la pâte qui les enveloppe se désagrége ou se décompose. C'est ainsi qu'on obtient de très-beaux cristaux de feldspath, d'amphigène, d'amphibole, de pyroxène, de péridot.

Souvent les cristaux empâtés sont dégagés par l'action érosive des eaux, et transportés par les cours d'eau dans les alluvions, où ils se trouvent plus ou moins roulés et déformés. La plus grande partie des cristaux de pierres dures, diamants, co-

rindons, saphirs et rubis, topazes, etc., sont obtenus par le lavage des alluvions.

Les roches qui contiennent des cristaux empâtés contiennent aussi des géodes, dont ces cristaux tapissent les parois. C'est ainsi que les granites de l'île d'Elbe présentent des géodes tapissées de cristaux de feldspath, de quartz, de tourmalines et d'émeraudes ; les granites de Baveno contiennent dans leurs géodes les plusbeaux cristaux de feldspath, associés à des cristaux de quartz, de mica et de spath fluor ; les diorites de Norwége fournissent les cristaux d'amphibole, d'épidote et d'olygoclase ; les granites quartzeux de l'Erzgebirge fournissent les cristaux de mica.

Les géodes cristallines qui se forment dans les laitiers de hauts fourneaux coulés en grandes masses et refroidis lentement nous donnent l'idée du mode de formation de ces géodes cristallines dans les roches éruptives.

Ces rapprochements entre les phénomènes observés dans nos laboratoires et dans nos usines, et les grands phénomènes de la nature, n'ont pas pour but des assimilations absolues ; ils servent seulement à démontrer l'unité des lois qui ont présidé aux combinaisons minérales et à leur cristallisation.

Macles. Hémitropies.

Les géodes cristallines présentent souvent les cristaux orientés, avec leurs axes à peu près parallèles, et avec une tendance évidente à se placer dans un certain sens des gîtes. Les filons métallifères contiennent des exemples nombreux de cette tendance ; les axes principaux des cristaux sont perpendiculaires au plan du dépôt, c'est-à-dire au toit et au mur.

D'autres fois, par exemple dans les géodes cristallines du quartz, du feldspath adulaire, etc. (Alpes), les cristaux sont groupés confusément, ils se croisent et se pénètrent dans tous les sens.

Certaines espèces minérales affectent des *croisements* ou *macles*, suivant des dispositions constantes et régulières.

Ainsi les staurotides ou *pierres de croix*, qui abondent dans

certaines roches schisteuses de la Bretagne, ont la forme de prismes hexagonaux aplatis, dérivés du prisme droit rhomboïdal, croisés à angle droit. La figure 73 est la figure géométrique de ce croisement; la figure 74 est un dessin d'après nature.

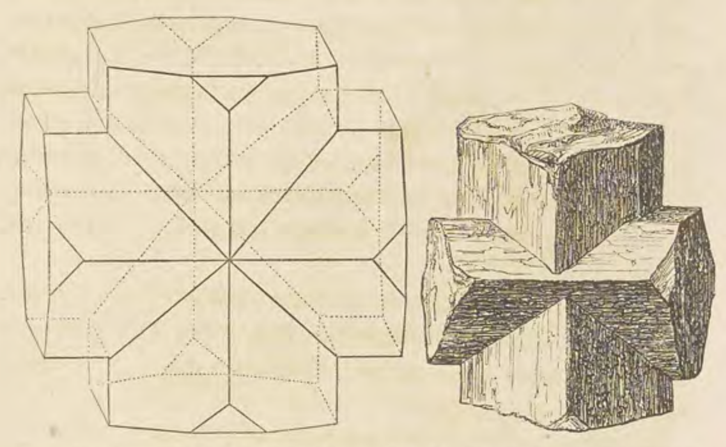


Fig. 73. — Macle de la staurotide. *Fig.* 74.—Staurotide maclée de Bretagne.

Plus rarement, la staurotide affecte des croisements sous l'angle de 60 degrés.

Il y a là une loi évidente de groupement régulier.

L'oxyde d'étain cristallise en prismes droits à bases carrées, surmontés de pyramides; mais ces cristaux sont toujours groupés de manière à présenter des angles rentrants et des formes en apparence très-complexes. Ces formes résultent des macles régulières, qui se produisent de manière à former des angles rentrants, tantôt sur les faces du prisme, plus souvent sur

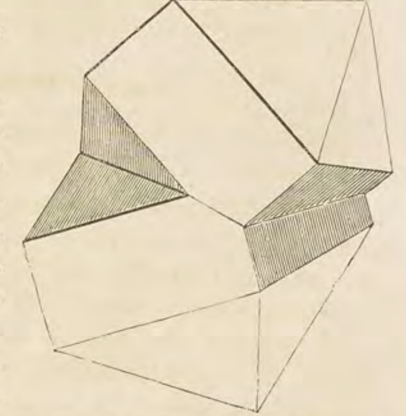


Fig. 75.— Oxyde d'étain. Prismes à bases carrées pyramidés maclés.

les faces des pyramides, qui déterminent des angles caractéristiques dits becs ou genoux d'étain (*fig.* 75). Quelquefois le corps du prisme se raccourcit ou même disparaît, et les angles rentrants sont formés par les faces des pyramides accolées base à base.

Fig. 76. — Harmotome cruciforme.

L'harmotome dite cruciforme (*fig.* 76), est encore un exemple classique de ces groupements. Cette substance se trouve en petits cristaux, dont les angles rentrants montrent tout de suite la composition complexe indiquée par la figure.

Les tétraèdres du cuivre gris présentent aussi des macles régulières, qui rappellent le croisement des deux tétraèdres inscrits dans le cube.

Les groupements donnent lieu quelquefois à des constructions plus complexes, le nombre des cristaux groupés autour d'un même axe pouvant s'élever à 5 ou 6.

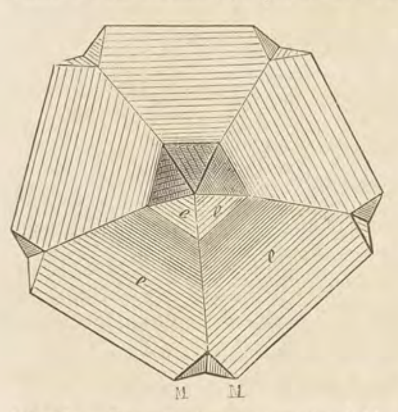


Fig. 77. — Fer sulfuré en prismes rhomboïdaux maclés.

Ainsi le fer sulfuré, en prismes rhomboïdaux, présente des groupements de 5 cristaux, dont les faces dominantes sont des troncatures sur les sommets E (*fig.* 77).

Les faces primitives M, sont réduites et quelquefois supprimées par les troncatures; les angles rentrants qu'elles déterminent mettent en évidence la construction du groupement. Lorsque de la figure théorique (*fig.* 77), on se reporte au dessin d'un groupe naturel

de ces cristaux (*fig.* 78), on reconnaît parfaitement la disposition indiquée.



Fig. 78. — Fer sulfuré en prismes rhomboïdaux maclés.

Le plomb carbonaté, qui cristallise en prismes droits rhomboïdaux, se présente rarement en prismes simples, mais souvent en groupes, dont la figure 79 indique une disposition.

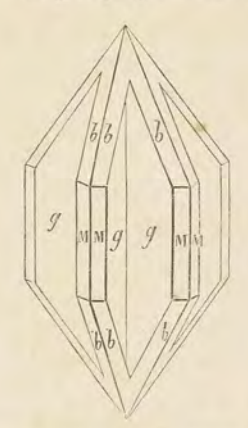


Fig. 79.— Plomb carbonaté. Cristaux groupés.

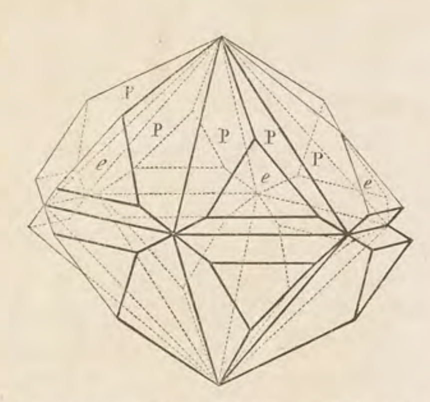


Fig. 80.—Chabasie en rhomboèdres groupés autour d'un axe commun.

Enfin les rhomboèdres de la chabasie forment également des groupes dont les angles rentrants attestent la construction complexe, représentée par la figure 80. Cette disposition est beaucoup plus difficile à reconnaître dans les cristaux naturels, à cause de l'inégalité constante des faces.

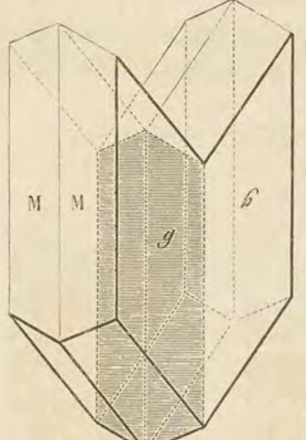


Fig. 81.—Chaux sulfatée; hémitropie.

L'observation met ainsi les groupements à profit, de manière à en tirer des caractères spéciaux pour la plupart des substances. On s'habitue à reconnaître ces substances, non-seulement d'après leur type cristallin, mais très-souvent d'après la manière dont les cristaux se mâclent et se groupent.

L'**hémitropie** est le groupement de deux demi-cristaux qui ont leur grand axe commun et sont placés en sens inverse, de telle sorte que la demi-base inférieure de l'un vienne se placer sur le prolongement de la demi-base supérieure de l'autre.

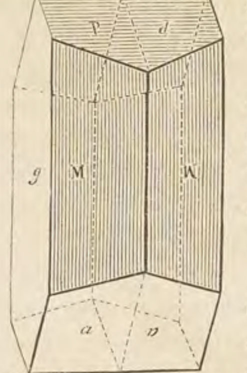
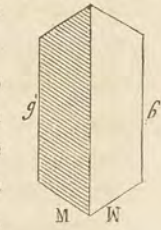


Fig. 82. — Feldspath orthose hémitrope.

L'hémitropie peut être considérée comme formée par un cristal unique, partagé suivant le grand axe, et dont la moitié aurait fait une demi-révolution, en restant accolée à l'autre moitié, supposée fixe.

La figure 81 représente l'hémitropie d'un cristal de chaux sulfatée. La moitié du cristal est supposée avoir fait un demi-tour complet et s'être accolée à l'autre moitié par la surface teintée. L'hémitropie est ici rendue très-sensible par l'angle rentrant qu'elle détermine.



L'hémitropie ne détermine pas toujours des angles rentrants : on le voit par l'exemple du feldspath qui, dans ce cas (*fig.* 82), conserve tout à fait l'apparence d'un cristal unique; la section transversale indique seule l'hémitropie.

Aussi existe-t-il beaucoup de cristaux hémitropes, notam-

ment dans la chaux carbonatée, le quartz, etc., dont la structure intérieure n'est appréciable que par l'étude des clivages ou des propriétés optiques.

Les prismes du pyroxène, dérivés du prisme rhomboïdal oblique, présentent de nombreux cas d'hémitropie. La figure 84



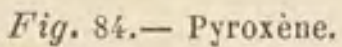


Fig. 84.— Pyroxène.



Fig. 85. — Pyroxène en cristaux hémitropes.

indique le cristal simple ; la figure 85 représente des cristaux hémitropes, dessinés d'après des cristaux recueillis en Auvergne.

Dans certains cas, les hémitropies non-seulement déterminent des angles rentrants, mais encore des formes auxquelles on est si peu habitué en géométrie, qu'on a de la peine à les reconnaître.

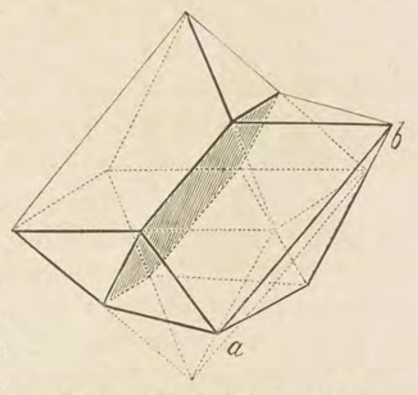


Fig. 86. — Hémitropie de l'octaèdre.

Les octaèdres hémitropes sont un exemple assez frappant de cette difficulté. La section d'un octaèdre, lorsqu'on coupe par leurs milieux les arêtes opposées, est un hexagone régulier : que l'on fasse faire à l'une des deux moitiés *a*, *b*, un sixième de tour, et l'on obtient l'octaèdre hémitrope (*fig.* 86). Les spinelles et le fer oxydulé affectent souvent cette forme.

Isomorphisme. Dimorphisme. Épigénies.

En principe, toute espèce minérale, composée d'éléments déterminés, en proportions définies, affecte une forme cristalline spéciale, avec des angles caractéristiques.

Réciproquement, une forme cristalline, nettement caractérisée par des angles spéciaux, désigne l'espèce et par conséquent la composition chimique.

Ces principes très-nets subissent dans quelques cas, non pas des exceptions, mais des apparences d'exceptions, qu'il importe de signaler.

Il existe des bases *isomorphes*, c'est-à-dire qui peuvent se substituer en partie les unes aux autres, dans une combinaison minérale, sans que les caractères cristallographiques soient sensiblement altérés. Tels sont la chaux, la magnésie, les protoxydes de fer et de manganèse. Il résulte, de cette propriété, des substitutions en proportions variables de ces bases, dans certaines espèces minérales, sans que ces variations de composition soient accusées par des modifications des cristaux. Cette propriété paraît encore facilitée par la similitude des cristaux; les substitutions sont fréquentes, par exemple, dans les carbonates de chaux, de magnésie, de fer et de manganèse, qui cristallisent en rhomboèdres dont les angles sont presque les mêmes.

Les substitutions de bases isomorphes sont d'ailleurs indiquées par des modifications de dureté, de densité et de coloration, de telle sorte qu'il n'en résulte aucun embarras dans la pratique de la minéralogie.

Certains silicates présentent également des exemples de ces substitutions. Lorsque les bases essentielles sont simplement mélangées de quelques centièmes de bases isomorphes, la distinction est difficile; mais, lorsqu'il y a substitution presque complète, les caractères physiques se modifient de telle sorte, qu'il en résulte réellement d'autres espèces minérales que l'on reconnaît immédiatement. Les grenats, les pyroxènes et les amphiboles offrent des exemples de ces transformations d'espèces.

Non-seulement les caractères physiques suffisent à signaler la nature des bases dominantes, mais les caractères cristallographiques se modifient eux-mêmes, et, bien que la forme primitive reste constante, les dérivés ne sont plus les mêmes.

Quelques substances sont *dimorphes*, c'est-à-dire qu'ayant cristallisé dans des circonstances différentes, elles ont pu prendre des formes appartenant à des types cristallins différents.

Ici l'exception aux lois cristallographiques est complète, mais elle est fort rare; nous ne pouvons guère citer, parmi les minéraux abondants, que la chaux carbonatée et le fer sulfuré qui soient nettement dimorphes.

La chaux carbonatée cristallise ordinairement en rhomboèdres (quatrième système), avec trois clivages égaux; accidentellement on la trouve cristallisée en prismes droits rhomboïdaux (troisième système) et sans clivages. Sous cette forme, à laquelle on a donné le nom spécial d'arragonite, la chaux carbonatée est plus dure et plus dense que sous la forme ordinaire.

L'arragonite se trouve à l'état de concrétions et de stalactites déposées par les eaux minérales, et l'on a observé, dans les dépôts actuels, que les eaux acidulées qui contiennent en dissolution du carbonate de chaux, maintenues à une température élevée, déposent l'arragonite; tandis que, si elles ont perdu leur chaleur et leur acide, elles déposent de la chaux carbonisée ordinaire.

Le fer sulfuré ou pyrite cristallise ordinairement dans le système cubique; très-souvent, mais dans des gîtes spéciaux, il se rencontre cristallisé en prismes droits rhomboïdaux. Il affecte alors une coloration et des caractères physiques différents, qui attestent que la composition chimique restant la même, la constitution moléculaire est cependant tout à fait changée. Le dimorphisme est donc complet.

Cette propriété n'est pas en opposition précise avec les lois de la cristallographie; elle tend à indiquer qu'une espèce minérale, lors même qu'elle n'est composée que de deux éléments, peut avoir deux formes distinctes. Ajoutons que le dimorphisme

est un phénomène très-rare, et qu'en dehors des deux cas précités, il n'a pas d'importance.

Les **épigénies** consistent dans la substitution d'une substance à une autre qui était cristallisée, de telle sorte qu'une espèce, prenant ainsi la place de l'autre, s'est en quelque sorte moulée dans le vide qu'elle a laissé, et présente une apparence de cristallisation anormale. C'est une substitution purement mécanique, tout à fait accidentelle et à laquelle on donne en général une trop grande place dans les collections.

Ainsi, qu'un sulfure de fer cristallisé vienne à se décomposer en hydroxyde, ce qui est assez fréquent, le fer hydroxydé se trouvera en cubes ou en octaèdres.

La galène, qui cristallise en cubes, s'est substituée dans quelques filons à des cristaux hexagonaux de plomb phosphaté.

On trouve de l'argent natif et du cuivre natif, qui cristallisent dans le système cubique, substitués à des cristaux de chaux carbonatée appartenant au système rhomboédrique.

Ces épigénies sont en général assez rares; ce sont de véritables moulages, qui n'ont aucun rapport avec les phénomènes de la cristallisation.

On a quelquefois assimilé à l'épigenie un phénomène de cristallisation qui est tout à fait différent. Certaines substances douées d'une grande force de cristallisation ont entraîné, dans leur mouvement, d'autres substances mélangées mécaniquement. Ainsi, la chaux carbonatée qui a cristallisé dans les sables de Fontainebleau a pu empâter dans ses cristaux une forte proportion de ce sable, qui lui a fait donner le nom de grès cristallisé. Le quartz a souvent entraîné, en cristallisant, des aiguilles de titane oxydé, de la chlorite, etc. Certains cristaux d'amphibole ou de pyroxène ont entraîné les éléments du mica, qui ont cristallisé dans leur intérieur. C'est par suite du même phénomène, que l'on trouve souvent des cristaux de pyroxène dans l'intérieur des cristaux d'amphigène.

Ces phénomènes, qui altèrent surtout la pureté des cristaux gros et opaques, montrent combien a été forte, dans certains cas, l'attraction moléculaire qui a formé ces cristaux.

Détermination des cristaux.

Lorsque les minéraux cristallisés présentent des polyèdres complets, lorsque les faces de même espèce sont développées à peu près également, la détermination des cristaux est très-facile. Mais ce cas de développement complet et régulier est exceptionnel, et, le plus souvent, la détermination doit se faire sur des portions de cristaux.

Un peu d'exercice permet de surmonter ces difficultés. Nous avons dit comment on pouvait reconnaître, sur la vue d'une partie des faces, les cristaux du système cubique et du système rhomboédrique; les premiers, parce que tous les dérivés présentent comme le cube des faces coordonnées, par rapport à un centre; les seconds, parce que les faces triangulaires résultant des troncatures des sommets, et les modifications trièdres, leur donnent un caractère spécial.

Quant aux prismes des quatre autres systèmes, ils sont généralement implantés sur les roches, de telle sorte qu'un de leurs sommets est visible; or, ce sont précisément les sommets qui fournissent les moyens de déterminer les cristaux.

L'essentiel est donc d'avoir toujours présents à la mémoire les caractères qui distinguent les dérivés des six formes primitives; nous résumerons les plus essentiels :

1er Système. — **Cube.**

Éléments du cristal.	6 faces........	P.
	8 angles.......	A.
	12 arêtes........	B.

Dérivés principaux.	Octaèdre régulier (angle caractéristique 109°).	
	Dodécaèdre rhomboïdal (angles 90°, 109°, 120°).	
	Hexatétraèdres.	
	Trapézoèdres.	
	Hémièdres.	Tétraèdre régulier.
		Dodécaèdre pentagonal.
		Icosaèdre.

Dans tous les cristaux qui conservent les faces primitives, le caractère distinctif résulte de l'angle de 90 degrés et de la symétrie des modifications sur les faces primitives adjacentes.

Les dodécaèdres, trapézoèdres, icosaèdres, se reconnaissent à la forme polygonale de leurs faces. Souvent, lorsque les angles sont oblitérés, ces cristaux tendent à prendre des formes sphéroïdales.

Les faces triangulaires caractérisent les octaèdres et les tétraèdres, mais les angles sont tellement différents, que ces deux formes ne peuvent être confondues. Les modifications qui se produisent sur les arêtes ou sur les angles sont également inclinées aux faces adjacentes.

Les hémitropies, qui jettent quelquefois tant d'incertitudes sur les déterminations, sont en général assez faciles à reconnaître dans le système cubique. La plus fréquente est l'hémitropie de l'octaèdre.

Le fer sulfuré et le cobalt gris sont les types les plus complets du premier système et les plus variés dans leurs dérivations.

La galène donne les meilleurs cubes et cubes octaèdres.

Le spath fluor présente des séries de cubes très-diversement modifiés sur les angles et sur les arêtes.

Le fer oxydulé est remarquable par ses dodécaèdres et surtout par ses octaèdres simples ou modifiés.

Le grenat fournit les meilleurs types de dodécaèdres rhomboïdaux et de trapézoèdres.

Les métaux natifs, or, argent, cuivre, cristallisent dans le système cubique; leurs épigénies et leurs hémitropies produisent accidentellement des polyèdres très-complexes. Sous ce rapport, le cuivre natif du lac supérieur fournit des exemples d'une difficulté classique.

Les hémitropies dodécaèdres de la blende fournissent également des solides très-complexes et d'une interprétation d'autant plus difficile, que dans aucune autre substance les faces n'ont plus de tendance à se développer inégalement et à prendre des apparences courbes et oblitérées, par la multiplicité des facettes qui se croisent sous des angles obtus.

Citons encore, parmi les caractères saillants du système cubique, les trois clivages égaux et perpendiculaires de la galène, qui conduisent au cube ; les quatre clivages du spath fluor égaux et sous des angles de 109°, qui conduisent à l'octaèdre régulier; les six clivages de la blende.

Les substances métalliques, pyrites de fer, argent sulfuré, cobalt gris ou métaux natifs, qui ont un éclat prononcé, ne présentent pas de clivages.

2e Système. — **Prisme droit à base carrée.**

Éléments du cristal.	2 bases..................	P.
	4 faces du prisme.......	M.
	8 angles.................	A.
	4 arêtes du prisme......	H.
	8 arêtes des bases.......	B.

Dérivés principaux.	Octaèdres à base carrée	sur les arêtes.
		sur les angles.
	Prismes droits à 4, 8, 12 et 16 pans.	
	Prismes pyramidés.	
	Hémièdres : Tétraèdres symétriques.	

Modifications multiples de 4 sur les sommets du cristal.

Les prismes carrés conservent en général les faces primitives sous l'angle de 90°, mais sont surmontés de pyramides et de troncatures.

Le développement inégal des faces du prisme, les modifications des arêtes par des facettes multiples qui tendent à produire des stries sur ces faces, peuvent rendre les déterminations incertaines, mais les sommets sont toujours décisifs, parce que ce sont les seuls qui présentent des modifications symétriques, multiples de 4 sur les angles ou sur les arêtes.

Les prismes sont ordinairement surmontés des faces de l'octaèdre placé sur les angles ou sur les arêtes. L'oxyde d'étain, les zircons, l'idocrase et l'apophyllite sont de bons spécimens de ces formes. Souvent les faces des octaèdres arrivent à exclure celles

du prisme, ainsi qu'il arrive pour le zircon et pour l'oxyde de titane dit anatase.

Quelques croisements et hémitropies ont des apparences particulières, avec lesquelles on doit se familiariser ; par exemple, les macles de l'oxyde d'étain et du rutile.

Enfin, les tétraèdres symétriques produits par l'hémiédrie sont représentés par la pyrite cuivreuse.

3e Système. — **Prisme rectangulaire droit.**

Éléments du cristal.
- 2 bases.................. P.
- 2 faces.................. M.
- 2 faces.................. T.
- 8 angles................. A.
- 4 arêtes longues des bases. B.
- 4 arêtes courtes des bases. D.
- 4 arêtes du prisme...... H.

Dérivés principaux.
- Prisme droit rhomboïdal, parallèle aux plans diagonaux.
- Prismes droits rhomboïdaux.
- Prismes droits hexagonaux, octogonaux, etc.
- Octaèdres.
  - à bases rectangulaires.
  - à bases rhomboïdales.

Modifications multiples de 2 sur les arêtes des sommets.

Les prismes droits rhomboïdaux et les octaèdres à base rhombe sont les formes les plus répandues.

Tout prisme droit, avec modifications multiples de 2 au sommet, appartient nécessairement à ce système. Les sommets en biseau, les sommets quadrangulaires avec seulement 2 arêtes tronquées, soit avecfa cettes sur deux angles seulement, deviennent ainsi des caractères déterminants.

Le soufre fournit une grande variété d'octaèdres avec ces diverses modifications.

Parmi les prismes, la topaze et la baryte sulfatée présentent des exemples variés avec des modifications très-diverses et bien caractérisées.

Enfin les clivages fournissent aussi de bonnes indications. lorsqu'ils sont au nombre de trois, ils sont inégaux et conduisent au prisme rhomboïdal primitif, comme par exemple dans la baryte sulfatée; il peut n'en exister que deux ou même un seul, comme dans la topaze.

4[e] Système. — **Rhomboèdre.**

Éléments du cristal.	6 faces.................. P.
	2 angles de sommets .... A.
	6 angles................. E.
	6 arêtes des sommets.... B.
	6 arêtes en zigzag....... D.

Dérivés principaux.	Rhomboèdre inverse.	
	Rhomboèdre équiaxe.	
	Rhomboèdres aigus ou obtus.	
	Dodécaèdres métastatiques.	
	Dodécaèdres isocèles.	
	Prisme hexagonal régulier	sur les arêtes.
		sur les angles.

Modifications uniques sur l'angle A; les autres *multiples de* 3 *sur la moitié du cristal.*

Le système du rhomboèdre est le plus facile à reconnaître dans ses formes dérivées, par suite du caractère tout spécial qui résulte des modifications multiples de 3.

Les seuls cristaux qui puissent donner lieu à quelques hésitations sont les prismes hexagonaux, lorsqu'ils sont simplement basés et par conséquent ne présentent pas de sommets. Dans ce cas, il n'y a que les clivages qui puissent faire distinguer un prisme hexagonal régulier dérivé du rhomboèdre, de celui qu'on peut faire dériver du prisme droit rhomboïdal.

Mais le cas d'un prisme hexagonal régulier simple et sans aucune modification est exceptionnel; pour peu qu'il y ait des facettes supplémentaires, on distinguera, dans les prismes dérivés du rhomboèdre, les facettes triples qui déterminent des sommets avec le caractère trièdre, ou des facettes simples, trian-

gulaires, produites par les troncatures perpendiculaires à l'axe unique.

La chaux carbonatée, le fer olygiste, la tourmaline, le corindon, l'argent rouge, fournissent les meilleurs types des sommets rhomboédriques. La chaux, carbonatée surtout, présente les métastatiques, formes si nettement caractérisées par les faces scalènes, qui conservent leur apparence spéciale, lors même qu'elles sont compliquées par des modifications supplémentaires ou par la dilatation inégale des faces.

5e Système. — **Prisme rhomboïdal oblique.**

Éléments du cristal.	2 bases.... P.	
	4 faces du prisme M.	
	2 angles... A.	(1 sur la moitié du cristal.)
	2 angles... O.	
	4 angles... E.	(2 sur la moitié du cristal.)
	4 arêtes ... B.	(Contiguës deux à deux sur chaque base du prisme.)
	4 arêtes ... D.	
	2 arêtes ... H.	(Opposées deux à deux.)
	2 arêtes.... G.	

Dérivés principaux.	Octaèdres obliques.	à base rhombe.
		à base rectangulaire.
	Prismes obliques...	à base rhomboïdale.
		à base rectangulaire.
		hexagonaux.
		à 8, 10, 12 pans, etc...

Modifications sur les angles A *et* O, *uniques sur la moitié du cristal; modifications multiples de* 2 *sur les arêtes des bases; multiples de* 2 *sur les arêtes du prisme.*

Beaucoup de substances importantes cristallisent dans ce système, le seul dont l'interprétation présente quelque difficulté. Les prismes n'offrent rien de particulier, mais les sommets sont des plus complexes, et, lorsqu'il s'y joint des irrégularités par suite de la dilatation des faces accessoires, il est souvent difficile d'analyser exactement la construction des cristaux.

Le feldspath est un des meilleurs exemples à étudier ; les cristaux sont abondants et très-diversement modifiés.

Un des plus répandus est représenté ci-contre (*fig.* 87).

Pour l'examiner, on placera l'axe verticalement, et l'on reconnaîtra un prisme à 6 pans, terminé par des sommets complexes.

Les modifications latérales et les petites facettes groupées deux à deux indiquent tout de suite un prisme rhomboïdal. Ce cristal a l'apparence d'un prisme droit, mais l'existence des trois faces à chaque sommet, et l'absence de symétrie de ces trois faces, démontrent que le prisme est oblique.

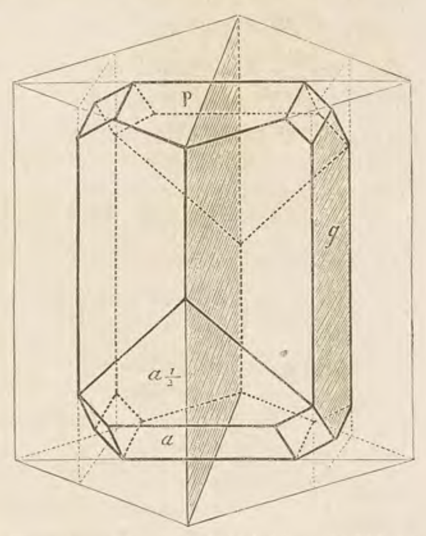


Fig. 87. — Prisme rhomboïdal oblique du feldspath orthose.

Cherchant à distinguer les faces primitives, on voit que, sur la plupart des cristaux, les faces P ont un aspect particulier, qui résulte de l'existence d'un clivage parallèle à ces faces. Donc P est la base. Quant aux faces du prisme, elles ne sont pas indiquées par des clivages ; mais il en existe un, parallèle à *g* et perpendiculaire à P. Si nous nous rappelons que cette propriété appartient spécialement au prisme oblique du cinquième système, nous reconnaissons tout de suite que ce clivage est diagonal, et que par conséquent les faces primitives du prisme sont les quatre contiguës aux faces G.

Donc le cristal est un prisme rhomboïdal oblique, dont on peût même reconstituer la forme primitive, par le prolongement des faces P, M, M, ainsi qu'il est indiqué (*fig.* 87).

D'autres substances très-répandues, telles que les pyroxènes et les amphiboles, peuvent donner lieu à des études du même

genre, pour reconstituer les prismes rhomboïdaux obliques, qui sont leurs formes primitives.

Le caractère essentiel resulte toujours des modifications uniques sur deux des angles du demi-cristal, et multiples de 2 sur les deux autres angles ainsi que sur les arêtes.

Des hémitropies fréquentes compliquent les cristaux de ce système, mais la confusion des faces devient le plus souvent l'indice de ces hémitropies, lors même qu'elles sont produites par le plan diagonal perpendiculaire à la base, et ne déterminent pas d'angles rentrants.

6e Système. — **Prisme oblique non symétrique.**

Éléments du cristal.	2 bases.... P. 2 faces.... M. 2 faces.... T. 2 angles... A, 2 E, 2 I, 2 O. 2 arêtes... B, 2 C, 2 D, 2 F. 2 arêtes... G, 2 H.
Dérivés principaux..	Prismes obliques non symétriques. Octaèdres obliques non symétriques.

Modifications uniques sur tous les éléments de la moitié du cristal.

L'absence complète de symétrie dans ces cristaux et l'existence de modifications toujours uniques sont les meilleurs indices pour les reconnaître. Nous ajouterons encore la distinction déjà signalée : que les hémitropies diagonales, qui peuvent ne pas présenter d'angles rentrants dans le cinquième système, en présentent toujours dans le sixième. C'est ce caractère qui permettra de distinguer les feldspaths du sixième système, l'albite, l'olygoclase et le labradorite, du feldspath orthose cité comme appartenant au cinquième système; caractère précieux, qui permet de distinguer ainsi les feldspaths à base de potasse, de ceux qui sont à base de soude et de chaux.

En dehors de certains feldspaths, le sixième système est assez peu répandu. Le meilleur type est l'axinite (*fig.* 88), dont les

prismes très-obliques et à bords tranchants portent souvent les modifications uniques qui caractérisent le système.

Si l'on compare ce groupe de cristaux d'axinite, dessiné d'après nature, à la figure théorique donnée précédemment comme exemple du prisme oblique non symétrique, page 67,

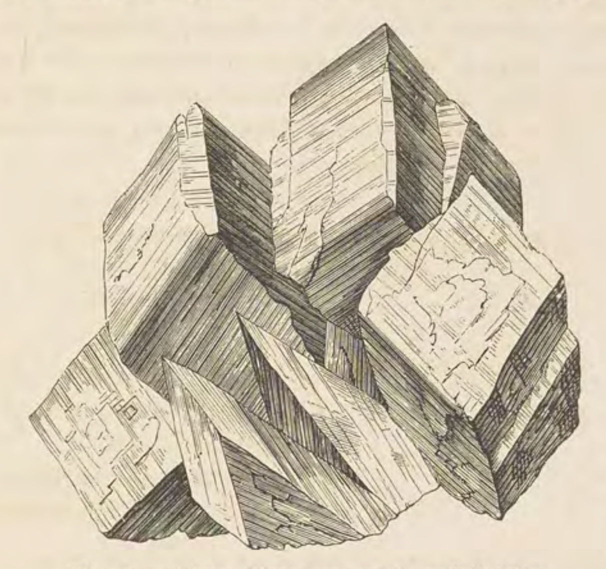


Fig. 88. — Prismes obliques non symétriques de l'axinite.

on y reconnaîtra les mêmes prismes, fortement rayés par des stries d'accroissement parallèles aux arêtes, ainsi que le développement naissant des troncatures sur les arêtes H.

En ayant présent à la mémoire ce résumé des propriétés cristallographiques des minéraux, on ne tardera pas à se familiariser avec les difficultés de l'application. Ces difficultés ne résultent, en réalité, que des irrégularités que peuvent présenter les cristaux.

Lorsqu'on analyse ces irrégularités, on voit que plus un sommet ou une arête se trouvent éloignés des éléments correspondants et de même espèce, plus il y a de chance de ne pas les trouver symétriquement modifiés, conformément à la théorie.

Ce qui revient à dire que plus un cristal est volumineux, moins il sera régulier.

Ainsi un gros cube de pyrite présentera des troncatures sur un ou plusieurs angles, tandis que, sur d'autres, ces troncatures seront à peine indiquées ou même n'existeront pas. Plus un prisme sera long, plus on aura chance de lui trouver des sommets non symétriquement modifiés.

Ces irrégularités ne sont pas réelles si l'on se rend compte de la structure des cristaux, formés et développés par la juxtaposition de lames moléculaires. On peut admettre que les influences qui déterminaient un certain groupement peuvent avoir existé à un moindre degré à une distance notable, ou même ne pas avoir existé.

C'est pour cela que les cristaux les plus petits sont toujours les plus réguliers.

On peut ajouter que les cristaux les plus petits sont en même temps les plus purs. Lorsqu'une substance est vitreuse et transparente comme, par exemple, le corindon, la tourmaline, etc., elle est généralement en petits cristaux ; les gros cristaux sont le plus souvent opaques et présentent une cassure inégale et grenue.

Cette opacité et cette inégalité de grain des gros cristaux paraissent généralement dues à des matières étrangères, entraînées par le mouvement de la cristallisation et mélangées dans des proportions souvent considérables.

C'est ainsi que la chaux carbonatée de Fontainebleau a entraîné dans sa cristallisation rhomboèdrique une proportion de grains quartzeux qui peut aller à 50 pour cent, et dont le mélange a complétement modifié l'apparence ordinaire de la chaux carbonatée. Cette chaux carbonatée, tout en conservant sa forme cristalline, a perdu ses clivages, c'est-à-dire sa texture caractéristique. Les grosses tourmalines noires et opaques, à cassure inégale et grenue, ne sont guère comparables aux petites tourmalines translucides ou transparentes, vertes, roses ou brunes, à cassure vitreuse. Lorsqu'on brise ces grosses tourmalines noires, on observe des délits qui feraient quelquefois croire à des

clivages et ne sont autre chose que des délits, déterminés par les substances mélangées. Ces substances sont des grains lithoïdes ou cristallins, empruntés aux terrains dans lesquels se sont formés les cristaux; des grains d'argile, d'oxyde de fer, de quartz. Quelquefois, comme dans certains cristaux d'amphibole ou de pyroxène, on trouve même d'autres substances cristallisées, surtout des micas.

Lorsque les minéraux sont transparents, on a profité, pour leur détermination, de leurs propriétés optiques, intimement liées aux formes cristallines.

Ainsi qu'il a été dit précédemment, chaque espèce minérale cristalline et transparente possède un indice de réfraction caractéristique ; les différences sont assez prononcées, dans plusieurs cas, pour que l'on puisse distinguer certaines substances d'après leur indice de réfraction.

Tous les cristaux du système cubique ne possèdent qu'une réfraction simple; mais les cristaux à axes inégaux, y compris le rhomboèdre, dont les faces sont coordonnées autour d'un axe unique, peuvent présenter une réfraction double.

Cette double réfraction est visible, dans les cristaux de spath d'Islande, à travers deux faces parallèles. Lors même que ces cristaux n'ont pas plus d'un centimètre de côté, ils dédoublent les images ; mais, si l'on taille deux faces perpendiculaires à l'axe du rhomboèdre, les deux images se confondent en une seule. C'est pour cela que dans les cristaux de quartz hyalin, lorsqu'on regarde à travers deux faces du prisme hexagonal, ces faces se trouvant normales à l'axe du rhomboèdre primitif, on ne voit qu'une seule image, cet axe neutralisant la double réfraction. Mais, si l'on taille un fragment de quartz de manière à obtenir deux faces parallèles, obliques à l'axe du rhomboèdre, on voit que cette substance possède aussi la double réfraction et dédouble les images.

On a reconnu que les cristaux pouvaient avoir un seul axe neutralisant la double réfraction, les rhomboèdres, par exemple ; ou bien, qu'ils pouvaient en avoir deux, lorsque les cristaux, comme les prismes à base rectangulaire ou rhomboïdale, peuvent

être considérés comme coordonnés par rapport à deux axes.

Poursuivant l'analyse des faits, on a constaté qu'il existait des cristaux possédant une double réfraction positive, c'est-à-dire pour lesquels le rayon extraordinaire est à droite de l'image ordinaire; tandis que d'autres cristaux ont une double réfraction négative, c'est-à-dire présentant l'image extraordinaire à gauche.

On a construit des appareils qui permettent de mesurer l'écartement des axes de réfraction, de les comparer pour des plaques taillées et d'épaisseurs déterminées.

Enfin on se sert de la lumière polarisée pour distinguer les cristaux à un ou à deux axes, de telle sorte que, prenant un morceau amorphe, mais transparent, et y taillant des plaques dans différents sens, on peut reconnaître non-seulement la substance, mais la position des axes, la forme primitive, etc...

Toutes ces observations, auxquelles on a donné beaucoup de développement depuis quelques années, sont du plus grand intérêt, puisqu'elles mettent en évidence la constitution cristalline d'une substance, d'après ses propriétés optiques; mais elles exigent des fragments transparents, des plaques taillées avec habileté, des instruments d'observation, et sortent, par conséquent, de la pratique de la minéralogie.

CHAPITRE V

CARACTÈRES CHIMIQUES, NOTATION, CLASSIFICATION DES MINÉRAUX

Le but essentiel de la minéralogie étant de déterminer la composition chimique des minéraux par l'inspection de leurs caractères, le point de vue chimique doit nécessairement servir de base à la classification.

Ce point de vue a conduit, toutes les fois qu'une détermination est difficile, à chercher une aide dans les caractères chimiques qui peuvent mettre en évidence la présence de tel élément constituant, ou bien telle propriété du minéral présumé.

Ces caractères chimiques servent en général de vérification pour les déterminations incertaines; ils ne doivent être employés qu'à la condition que les essais seront simples, d'une exécution rapide et facile, sur de très-petits fragments ou éclats d'un minéral.

Ainsi on pourra essayer si une substance est ou n'est pas attaquable par les acides; et plusieurs conditions pourront se présenter :

1° Elle sera inattaquable.

2° Elle sera attaquable ou même soluble.

3° Elle sera attaquable avec ou sans effervescence.

4° Elle sera seulement attaquable par une digestion prolongée.

C'est ordinairement l'acide azotique que l'on emploie pour ces divers essais. Une goutte déposée sur la surface la plus lisse d'un échantillon permet de vérifier si la substance est attaquée ou non : on laisse séjourner quelque temps l'acide,

et l'on voit, après l'avoir essuyé, si la place qu'il couvrait est attaquée, ou bien si elle est intacte et si elle a conservé son éclat.

Dans le cas où la substance est attaquée, on voit facilement si elle l'est avec ou sans effervescence. L'effervescence est tantôt vive, comme sur la chaux carbonatée, tantôt lente, comme sur la dolomie, et même à bulles tellement fines, qu'il faut une loupe pour les distinguer.

Une goutte d'acide déposée sur le quartz, sur la baryte sulfatée ou sur le feldspath orthose, ne laissera aucune trace. Par conséquent ces trois substances sont inattaquables.

L'essai se fera autrement, lorsqu'on ne pourra obtenir que de très-petits fragments de la substance. On versera un peu d'acide azotique au fond d'un verre de montre, et on y jettera la parcelle de substance à essayer. Un fragment de sulfate de plomb y restera sans être attaqué ; tandis qu'un fragment de carbonate de plomb s'y dissoudra avec effervescence.

Lorsqu'on procédera à un essai d'attaque par digestion, on placera un fragment un peu gros dans un verre, on le plongera en totalité ou en partie dans l'acide, et on vérifiera l'effet produit au bout de plusieurs jours. C'est ainsi que l'on peut distinguer les feldspaths à base de potasse ou de soude, qui restent inattaquables dans l'acide chlorhydrique, du feldspath à base de chaux, qui est attaqué au bout de quelques jours, et devient poreux à la surface, effet qui se propage d'autant plus profondément, que l'immersion est plus longue.

On peut à la rigueur essayer si une substance est soluble à chaud dans un acide, mais alors on entre réellement dans le domaine de la chimie.

Le chalumeau fournit encore de nombreux moyens d'essai qui satisfont aux conditions de rapidité et de précision nécessaires en minéralogie.

Le chalumeau est un tube recourbé, dans lequel on souffle de manière à déterminer un jet d'air, par une tuyère d'un très-petit diamètre. Ce jet d'air, dirigé à travers la flamme d'une

lampe ou d'une bougie, en élève la température et permet de fondre de petits éclats des substances minérales qu'on place, au moyen d'une pince, vers l'extrémité du jet ou *dard*.

L'emploi du chalumeau exige un peu d'exercice, à l'aide duquel on arrive promptement à faire les essais les plus simples, les seuls qui soient réellement utiles. Nous rangerons ces essais dans l'ordre suivant :

1° Si une substance est volatile ou non ; si elle est hydratée ou anhydre ?

Pour cet essai on place un petit éclat de la substance dans un tube de verre de cinq à six millimètres de diamètre, et l'on chauffe la partie du tube sur laquelle le fragment est posé. Le verre rougit, se ramollit même sous l'influence de la haute température du dard; la substance minérale calcinée se volatilise, si elle est volatile ; elle laisse échapper son eau, si elle est hydratée. Les produits volatils ou l'eau se condensent vers la partie supérieure du tube que l'on tient légèrement incliné.

2° Si une substance minérale est fusible ou infusible au chalumeau ?

On choisit un petit éclat, à bords minces, de la substance à essayer ; on le prend à l'aide d'une pince dont les bouts sont en platine. On chauffe ensuite ce fragment dans l'extrémité du dard, en maintenant la température la plus élevée possible. Le fragment soumis à cet essai devient blanc, et, après avoir soutenu cette température pendant une minute environ, on examine l'effet produit.

Si la substance est facilement fusible comme le pyroxène ou l'amphibole, elle s'est fondue en s'arrondissant et en formant une goutte comprimée par la pince ; si elle est difficilement fusible, comme les feldspaths, les bords les plus minces sont seuls arrondis et présentent des traces de fusion ; enfin si la substance est infusible au chalumeau, comme le quartz, le fragment d'essai a conservé sa forme et la vivacité de ses arêtes.

Le même essai permet de constater si une substance décrépite au feu ; si elle se fendille ou se gonfle. En un mot, on peut

se rendre compte de tous les phénomènes de détail déterminés par la haute température.

3° Si une substance est fusible ou infusible avec addition de borax ou de sel de phosphore (phosphate double de soude et d'ammoniaque) ? Dans le cas où la substance est fusible, quelle est la couleur du verre translucide, ou de l'émail opaque, qui résultent de cette fusion ?

Cet essai peut se faire de deux manières. En broyant la substance, faisant une pâte de cette substance avec du borax calciné en poudre, et fondant ensuite ce magmat, placé au bout d'un fil de platine; ou bien en faisant un bain de borax dans une petite coupelle en terre de porcelaine, et fondant le fragment d'essai au milieu de ce bain. Cette dernière méthode, facilitée par les petites coupelles fabriquées exprès, permet de mieux apprécier les colorations.

On observera d'abord si la substance mélangée au fondant est fusible, et, en second lieu, quelles sont l'apparence et la couleur du verre ou de l'émail obtenu. Ainsi la présence du manganèse est tout de suite accusée par une couleur d'un violet intense ; celle du cobalt par une belle couleur bleue ; celle du cuivre par un vert pâle, etc...

Au lieu de borax, on emploie quelquefois, pour essayer les silicates, le phosphate double de soude et d'ammoniaque. L'ammoniaque se volatilise, l'acide phosphorique libre s'empare des bases et laisse un squelette poreux de silice.

4° Si une substance est réductible au chalumeau ?

Pour cet essai, on place le fragment de la substance à essayer sur un morceau de charbon de bois, dans lequel on a pratiqué un petit trou. On projette ensuite la flamme du chalumeau sur le fragment, que l'on a soin de tenir plongé dans le milieu de la flamme, c'est-à-dire dans la partie du dard que l'on appelle feu de réduction. Le plus souvent, on accélère le résultat par l'addition d'un peu de sous-carbonate de soude sur le fragment soumis à l'essai.

Pour la plupart des minerais oxydés ou carbonatés, la fusion

et la réduction se produisent successivement, de telle sorte qu'on obtient un petit bouton métallique dont la nature est toujours facile à déterminer.

Si les minerais essayés sont des sulfures, on les grille d'abord au feu d'oxydation, c'est-à-dire à l'extrémité du dard; ce n'est qu'après un grillage aussi complet que possible, qu'on essayera la réduction.

Enfin, au lieu de procéder par réduction, on peut oxyder les fragments soumis à l'essai et obtenir ainsi des indications précises pour certains minéraux, notamment pour ceux qui sont à base d'arsenic ou d'antimoine, dont les vapeurs oxydées ont des propriétés caractéristiques.

Ces essais d'oxydation et de réduction par le dard du chalumeau sont les plus difficiles et, par conséquent, ceux qui exigent plus spécialement une étude préalable. On y réussira en essayant la coupellation dans le borax d'un petit grain de plomb argentifère, soit en essayant successivement l'oxydation et la réduction d'un petit grain d'étain.

On a décrit dans plusieurs ouvrages, et notamment dans le traité spécial de Berzelius, les moyens de faire en petit, tous les essais chimiques à l'aide du chalumeau. Mais cet usage complexe et exagéré du chalumeau n'est pas ce que l'on cherche en minéralogie; les essais chimiques ne doivent être appliqués que d'une manière tout à fait exceptionelle, et se borner aux essais précédemment indiqués, qui présentent le double caractère de facilité et de précision.

La conclusion de cet examen des caractères physiques, cristallographiques et chimiques des minéraux, est la désignation de l'espèce, c'est-à-dire de sa composition.

Cette composition des minéraux s'exprime en chimie par des formules, en désignant chaque corps simple par ses initiales. On procède de même pour les formules minéralogiques, mais avec quelques abréviations pour les combinaisons oxygénées dont les formules se trouveraient trop longues.

Supposons trois analyses de minerais qui auraient donné :

	1re analyse.	2e analyse.	3e analyse.
Soufre...........	19,00	27,75	30,50
Cuivre...........	79,50	60,07	35,00
Fer..............	0,50	14,50	33,00

Il faut, pour interpréter ces analyses et arriver à une formule, diviser chaque nombre trouvé par le chiffre qui représente le poids ou valeur de l'atome de la substance correspondante. En procédant à ces divisions, on obtient des chiffres et l'on détermine pour chaque analyse le rapport de ces quotients.

Procédant ainsi, on obtiendra pour chaque analyse les quotients suivants et les rapports quelquefois *approximatifs* indiqués entre parenthèses.

	1re analyse.	2e analyse.	3e analyse.
Soufre...........	0,095 (1)	0,118 (3)	0,173 (2)
Cuivre...........	0,200 (2)	0,154 (4)	0,088 (1)
Fer..............	»	0,041 (1)	0,088 (1)

d'ou se déduisent les trois formules.

1re analyse..........	Cu^2S
2e analyse..........	$2Cu^2S + FeS$
3e analyse..........	$Cu\,S + FeS$

Ces formules représentent en effet le cuivre sulfuré et les deux sulfures doubles de cuivre et de fer, espèces bien caractérisées par leurs caractères physiques et cristallographiques.

Pour les composés oxygénés, on supprime dans les formules minéralogiques la citation directe de l'oxygène, et l'on indique que les substances sont oxygénées en adoptant les majuscules italiques. D'autre part, pour tenir compte de l'oxygène et fournir la possibilité de rétablir la formule chimique complète, on signale par des exposants et des coefficients les rapports des proportions d'oxygène contenues dans les divers éléments.

Supposons l'analyse d'un feldspath orthose, silicate double d'alumine et de potasse :

		OXYGÈNE.	RAPPORTS.
Silice...........	65,00	33,78	12
Alumine........	17,90	8,39	3
Peroxyde de fer..	0,47	0,14	
Potasse.........	16,21	2,75	1
Chaux..........	0,35	0,10	

réunissant l'oxygène de l'alumine et du peroxyde de fer, de la potasse et de la chaux, substances isomorphes dont les dernières sont d'ailleurs en quantités insignifiantes, on obtient les rapports 12, 3, 1.

La substance est évidemment un silicate double d'alumine et de potasse que l'on écrirait $Al\ Si + K\ Si$; reste à y introduire par des exposants et des coefficients les proportions d'oxygène, ce qui s'obtiendra par $3\ Al\ Si^3 + K\ Si^3$, qui est la formule minéralogique du feldspath.

Lorsque les substances sont hydratées, la proportion de l'eau s'indique par *Aq*. Ainsi la formule du gypse ou chaux sulfatée hydratée sera $Ca\ S^3 + 2Aq$.

La classification des minéraux n'a pas grande importance au point de vue de l'ordre suivi pour leur description; son importance résulte de ce qu'elle représente un examen de l'ensemble des espèces minérales, et que cet examen, fait sur les espèces groupées d'après certaines considérations, est déjà une première étude.

Parmi les classifications employées par les minéralogistes, il n'y en a que deux qui puissent être considérées comme bonnes et utiles. Celle qui établit des séries d'après les bases des espèces minérales, et celle qui donne la préférence aux acides. Nous préférons la première, ainsi que nous l'avons dit précédemment, parce qu'elle réunit et groupe les minéraux précisément comme l'a fait la nature. La seconde n'a qu'un avantage sérieux, c'est de réunir les silicates, qui forment précisément des groupes spéciaux dans la nature, et qui, dans la plupart des cas, contiennent plusieurs bases ; de telle sorte que, dans une

classification rigoureusement établie par ces bases, on ne saurait à quelle famille attribuer la plupart des silicates.

Le meilleur moyen de concilier les avantages des deux classifications est, tout en prenant les bases pour former les familles, de réunir ensemble tous les silicates. Cette méthode, admise par Dufrenoy, est celle que nous avons suivie.

Une des divisions les plus naturelles est la réunion, dans un premier groupe, des minéraux qui ont pour base les métaux alcalins; c'est-à-dire de réunir dans une première classe les alcalis, les terres, les sels, en un mot, les minéraux lithoïdes.

Les minéraux qui ont pour base les métaux usuels, presque tous caractérisés par un certain éclat métallique et par une densité supérieure à celle des minéraux lithoïdes, forment une seconde classe.

Cette distinction, établie depuis longtemps par Haüy, qui séparait les minéraux *hétéropsides*, c'est-à-dire pierreux et lithoïdes, des minéraux *autopsides*, c'est-à-dire éclatants et métalliques, est une des plus commodes dans l'application.

Supposons qu'on ait à classer une grande quantité d'échantillons appartenant à beaucoup d'espèces minérales; le premier travail que l'on ferait naturellement, et avec très-peu de chances d'erreurs, serait donc de séparer les minéraux *lithoïdes* des minéraux *métalliques*.

Sans doute cette distinction n'est pas rigoureusement justifiée, en ce sens que l'aluminium, le sodium, le calcium, sont des métaux aussi bien que le plomb, le cuivre et le fer; mais les métaux usuels se distinguent des métaux alcalins par les caractères et les propriétés minéralogiques les plus tranchées; il en est de même de leurs composés.

Ceci posé, la première classe, celle des minéraux lithoïdes, sera décrite dans l'ordre ci-après : en mettant en tête les corps simples ou les acides libres, et n'oubliant pas que nous ne comprenons, dans ces listes, que les minéraux usuels ou ceux qui, tout en étant rares, présentent cependant un intérêt spé-

cial, soit par leurs caractères minéralogiques, soit par leur emploi dans les arts ou dans l'ornement.

BASES.		
	Soufre	S
	Acide borique	*Bo*
	Carbone	C
	Combustibles minéraux.	
	Bitumes et pétroles.	
	Quartz	*Si*
Chaux	Chaux carbonatée	CaC^2
	Anhydrite	CaS^3
	Gypse	$CaS^3 + 2Aq$
	Spath fluor	CaFl
	Chaux phosphatée	$3Ca^3Ph^5 + \mathrm{Ca(Cl,Fl)}^2$
Magnésie	Dolomie	$CaC^2 + MgC^2$
	Magnésie carbonatée	MgC^2
	— boratée	$MgBo^4$
	— sulfatée	$MgS^3 + 6Aq$
Strontiane	Strontiane carbonatée	SrC^2
	— sulfatée	SrS^3
Baryte	Baryte carbonatée	BaC^2
	— sulfatée	BaS^3
Soude	Natron	$NaC^2 + 10Aq$
	Soude sulfatée	$NaS^3 + 10Aq$
	Borax	$NaBo^6 + 10Aq$
	Sel gemme	NaCl
	Soude nitratée	$NaNi^5$
Alumine	Corindon	*Al*
	Spinelles	$(MgFe)Al^3$
	Alunite	$3AlS^3 + KS^3 + 6Aq$
	Wavellite	$Al^4Ph^3 + 18Aq$
	Klaprothite	
	Turquoise	
	Cryolithe	$2\mathrm{AlFl}^5 + 3\mathrm{NaFl}^2$

Arrivant aux silicates, nous les divisons en deux classes.

les **silicates alumineux** dans lesquels l'alumine est une base essentielle, et les **silicates non alumineux,** dont les bases sont les trois bases isomorphes, magnésie, chaux et protoxyde de fer et que nous désignons sous la dénomination de **silicates trappéens.**

Nous subdiviserons chacune de ces deux classes de silicates en divers groupes, dans lesquels nous réunissons les espèces qui se rapprochent soit par leur composition, soit par leurs propriétés minéralogiques, soit par leurs conditions de gisement.

C'est ainsi que chacune des classes comprend les désignations de *gemmes,* minéraux accidentels et rares, toujours en cristaux remarquables par leur coloration ou leur dureté; celles de *zéolites*, minéraux en cristaux blancs, de très-faible dureté, de couleurs claires, et toujours hydratés.

En tête des silicates alumineux se trouvent les silicates d'alumine; puis les feldspaths, qui jouent un rôle si important dans la composition des roches.

Les silicates trappéens comprennent d'abord les silicates de magnésie, puis les pyroxènes et les amphiboles, éléments constituants et caractéristiques des roches trappéennes.

Silicates alumineux.

SILICATES D'ALUMINE....	Disthène...........	Al^3Si^2
	Andalousite.........	$(AlFe)^3Si^2$
	Staurotide..........	$(AlFe)^2Si$
	Pinite..............	$3AlSi^2 + (KMgfe)Si$
	Argiles.............	$AlSi + Aq$
MICAS ET CHLORITES.	Micas..............	$(Al\,Fe\,KMg)\,SiFl$
	Lépidolites.........	$(AlFeKLi)SiFl$
	Chlorites...........	$(AlMgFe)Si + Aq$
	Pennine.............	$3Al^2Si + MgSi + 10Aq$
	Glauconie..........	
FELDSPATHS...	Orthose............	$3AlSi^3 + (KNa)Si^3$
	Albite.............	$3AlSi^3 + (NaK)Si^3$
	Oligoclase..........	$3AlSi^2 + (NaKCa)Si^3$
	Labrador...........	$3AlSi + CaSi^3$

FELDSPATHS	Anorthite	$3AlSi + CaSi$
	Triphane	$3AlSi^2 + LSi^3$
	Amphigène	$3AlSi^2 + KSi^2$
	Néphéline	$3AlSi + NaSi$
	Wernérite	$3AlSi + (CaK)Si$
GEMMES	Émeraude	$AlSi^3 + GlSi^2$
	Euclase	$3AlSi + Gl^2Si + FlAq$
	Topaze	$3AlSi + Al^2Fl$
	Grenats-Idocrase	$(AlFe)Si + (Ca, femn)Si$
	Épidote	$2AlSi + (Ca, fe)Si$
	Cordiérite	$3AlSi + (Mgfe)Si$
	Tourmaline	$(AlFeCaMnMgKL)SiBoFl$
	Prehnite	$3(AlFe)Si + Ca^2Si^3 + Aq$
	Lapis-lazuli	$(AlCa)Si + NaS$
	Axinite	$2(AlFe)^2Si^3 + (CaKMg)^2Bo$
ZÉOLITES	Mésotype	$3AlSi + (CaNa)Si^3 + 3Aq$
	Stilbite	$3AlSi^3 + CaSi^3 + 6Aq$
	Heulandite	$3AlSi^3 + (CaNa)Si^3 + 5Aq$
	Laumonite	$3AlSi^2 + CaSi^2 + 4Aq$
	Chabasie	$3AlSi^2 + (CaKNa)Si^3 + 6Aq$
	Analcime	$3AlSi^2 + NaSi^2 + 2Aq$
	Harmotome	$3AlSi^3 + BaSi^3 + 6Aq$

Silicates trappéens.

SILICATES DE MAGNÉSIE	Magnésite	$MgSi^3 + 2Aq$
	Talcs	$3Mg^2Si^5 + 2Aq$
	Stéatite	
	Serpentine	$(MgCafe)Si + Aq$
PYROXÈNES ET AMPHIBOLES	Wollastonite	$CaSi^2$
	Diopside	$CaSi^2 + MgSi^2$
	Augite	$CaSi^2 + feSi^2$
	Hypersthène	$(Mg,fe)Si^2$
	Diallage	$(MgCafe)Si^2$
	Trémolite	$CaSi^3 + 3MgSi^2$
	Actinote	$CaSi^3 + 3(Mg,Fe)Si^2$
	Hornblende	$CaSi + 3feSi^2$
	Yenite	$3(CafeMn)Si + Fe^2Si$

Gemmes.....	Zircon............	$ZrSi$
	Péridot............	$(MgFe)Si$
	Sphène............	$CaSi + Ti^2Si$
Zéolites.....	Apophyllite........	$8CaSi^3 + KSi^6 + 16Aq$
	Datholite..........	$CaSi^4 + CaBo^3 + Aq$

La classe des minéraux métalliques se compose principalement des *minerais*, recherchés pour les fabrications métallurgiques, auxquels viennent s'ajouter des minéraux accidentels ayant les mêmes bases.

La classification par les bases peut être suivie complétement pour la description des minerais. L'utilité de cette classification se trouve démontrée par ce fait, que les groupements qui en résultent sont précisément ceux que présentent les gîtes métallifères ; les espèces composées des mêmes bases se trouvant presque toujours réunies dans les mêmes gîtes.

Le caractère dominant des espèces minérales de cette subdivision, est l'éclat métallique ou semi-métallique, sans que cependant ce caractère soit absolu. Certains oxydes, et surtout les sulfates, les carbonates et les silicates, n'ont point d'éclat métallique, mais leur grande pesanteur spécifique et quelquefois même leur éclat particulier les font facilement reconnaître comme appartenant à la classe des minéraux métalliques que nous décrirons dans l'ordre suivant :

Minéraux métalliques.

Or natif.
Platine natif.
Iridium.
Osmium.

Argent....	Argent natif.	
	— sulfuré............	AgS
	— rougé.............	$3AgS + \binom{Sb}{As}^2 S^3$
	— chloruré...........	$AgCl^2$
	— bromuré...........	$AgBr^2$

TELLURE....	Tellure natif auro-argentifère.	
	— natif auro-plombifère.	
PLOMB.....	Galène....................	PbS
	Plomb carbonaté..........	PbC^2
	— sulfaté.............	PbS^3
	— phosphaté..........	$3Pb^3Ph^5$
	— molybdaté..........	$PbMo^3$
	— chromaté..........	$PbCr^3$
	Bournonite................	PbS + CuS + SbS
ANTIMOINE..	Antimoine natif.	
	— oxydé.	
	— sulfuré.........	SbS^3
ZINC.......	Blende....................	ZnS
	Zinc carbonaté............	ZnC^2
	Calamine..................	$2ZnSi + Aq$
	Wilhemite.................	$ZnSi$
ÉTAIN......	Étain oxydé.	
	— sulfuré..............	$SnS + Cu^2S + FeS^2$
MERCURE...	Mercure natif.	
	— argental.	
	Cinabre...................	HgS
CUIVRE.....	Cuivre natif.	
	— oxydulé.	
	— sulfuré............	Cu^2S
	— panaché...........	$2Cu^2S + FeS$
	— pyriteux...........	CuS + FeS
	— gris................	$(Fe^4Cu^{16}Sb^6)S^{21}$
	Malachite.................	$2CuC + Aq$
	Azurite...................	$2CuC^2 + CuAq$
	Cuivre hydrosilicaté.......	$CuSi^2 + 2Aq$
	Dioptase..................	$CuSi^2 + Aq$
	— phosphaté.........	$CuPh + Aq$
	— chloruré..........	$CuCl + 3Cu + 4Aq$
	— arséniaté.	
ARSENIC....	Arsenic natif.	
	Réalgar...................	AsS^2
	Orpiment..................	AsS^3

Cobalt	Cobalt gris	$CoS^2 + CoAs^2$
	— arsenical	$CoAs^2$
	— arséniaté	$Co^3As^5 + 8Aq$
Nickel	Nickel arsenical	$NiAs$
	— sulfuré	NiS
	— arséniaté	$NiAs^5 + 8Aq$
Urane	Urane oxydulé.	
	— phosphaté	$U^4Ph^3 + \binom{Ca}{Cu}^2 Ph^5 + 16\,Aq$
Bismuth	Bismuth natif.	
	— sulfuré.	
Molybdène	Molybdène sulfuré	MoS^2
Manganèse	Hausmanite. Braunite.	$Mn\,mn$
	Pyrolusite.	Mn
	Acerdèse.	$3Mn + Aq$
	Psilomélane.	
	Manganèse carbonaté	MnC^2
	— silicaté	$MnSi^2$
	— phosphaté	$(MnFe)Ph^5$
Fer	Fer natif.	
	— oxydulé.	$feFe^3$
	— oligiste. Hématite rouge.	Fe
	— hydroxydé. Hématite brune.	Fe^2Aq
	Gœthite.	Fe^4Aq
	Fer carbonaté	FeC^2
	Pyrite magnétique	Fe^7S^8
	— jaune	FeS^2
	— blanche	
	Fer arsenical.	$FeAs^2 + FeS^2$
	— phosphaté.	$Fe^2Ph^5 + Aq$
	— silicaté	$2FeSi + Fe^2Al + 4Aq$
	— chromé	$(FeAl)Cr$
	Wolfram	$2FeW^5 + Mn^2W^5$

TITANE	Titane oxydé.	anatase. rutile.
	Fer titané.	
CÉRIUM.....	Cérite.	
TANTALE....	Tantalite. Niobite.	
YTTRIA.....	Orthite. Yttrotantalite.	

Cette énumération comprend environ 80 espèces lithoïdes et autant d'espèces métalliques; le total est donc, ainsi que nous l'avons dit précédemment, d'environ 160 espèces minérales bien établies, qui doivent être considérées comme formant le domaine de la minéralogie appliquée. Dans cette énumération se trouvent encore citées des substances rares et exceptionnelles, telles par exemple, que les minéraux à bases de tellure, d'urane, de cérium, de tantale et d'yttria, de telle sorte que le nombre déjà restreint des espèces, pourrait encore subir quelques réductions.

Or, parmi ces espèces minérales, un très-grand nombre sont déjà connues par des emplois usuels. On a souvent sous les yeux toutes celles qui sont employées dans les constructions et dans l'ornement; les métaux natifs et quelques-uns de leurs minerais.

L'étude de la minéralogie pratique est donc loin de présenter les difficultés qu'on lui suppose en général.

Ce qui démontre à la fois l'intérêt de la minéralogie et le peu de difficulté de sa pratique, c'est la facilité avec laquelle les ouvriers mineurs apprennent les parties qui les intéressent.

On trouvera par exemple un grand nombre de mineurs, en Saxe ou dans le Hartz, qui connaissent dans tous leurs détails les caractères des minerais complexes qu'ils exploitent, ceux des gangues qui les accompagnent et ceux même des roches encaissantes. Ils savent apprécier les moindres traces de

minerais dans les gangues, les caractères minéralogiques de toutes les espèces, structure, dureté, densité, formes cristallines et clivages, et ils sont les premiers à signaler les moindres modifications que subissent ces caractères.

DESCRIPTION DES ESPÈCES MINÉRALES

SOUFRE.

Couleur. — Jaune clair, quelquefois gris jaunâtre ou jaune brun.

Densité. — 2, 07.

Dureté. — A peine supérieure à celle du gypse.

Formes cristallines. — La forme dominante est un octaèdre droit, aigu, à base rhombe, dérivant d'un prisme droit rhomboïdal sous l'angle de 101°.

Les octaèdres sont souvent modifiés sur les angles par des pointements ou des troncatures, quelquefois sur deux des arêtes latérales (troisième système cristallin).

Point de clivages. — Cassure vitreuse, avec éclat gras. Le soufre est très-fragile et se brise d'autant plus facilement qu'il est plus pur. Lorsqu'on tient un morceau de soufre, la chaleur de la main suffit pour causer des dilatations qui déterminent un pétillement ou *cri* du soufre ; en approchant l'oreille, il semble que ce morceau se brise.

Au simple contact de la flamme d'une bougie, le soufre s'allume, brûle avec une flamme bleuâtre et répand une forte odeur d'acide sulfureux.

S'électrise négativement par le frottement.

Ces caractères sont tellement tranchés et spéciaux, que l'on reconnaît le soufre au premier coup d'œil ; c'est d'ailleurs une substance très-recherchée pour la fabrication de la poudre et des produits chimiques, surtout de l'acide sulfurique.

Lorsqu'on fait cristalliser le soufre par voie sèche, en le fondant, on obtient des prismes rhomboïdaux obliques ; mais par voie humide, dans les fabriques de sulfure de carbone, on ob-

tient des octaèdres rhomboïdaux droits, du troisième système, aussi beaux que ceux des cristallisations naturelles. Le soufre est donc dimorphe.

Les gîtes de soufre sont nombreux et peuvent être rapportés à deux types.

Le premier, le plus apparent, résulte des émanations volcaniques, qui dans certaines contrées déterminent des *solfatares*. Les solfatares de Pouzzoles, de Vulcano, de la Guadeloupe, sont les exemples ordinairement cités; elles contiennent des fumarolles dont les parois se tapissent de soufre cristallin; souvent même les pouzzolanes et les scories de tout le cratère, s'imprègnent de soufre cristallin ou pulvérulent, de manière à créer un véritable minerai de soufre.

Il n'est guère de description de cratère volcanique dans laquelle on ne cite des émanations d'acide sulfureux et des condensations de soufre, et pourtant la production obtenue de ces émanations serait très-minime. Des expériences et des calculs faits pour apprécier l'exploitation possible de la soufrière de la Guadeloupe, une des plus riches en apparence, ont démontré que la production ne pourrait dépasser 8 à 10 tonnes par année.

Les gîtes qui fournissent le soufre, en quantité considérable, sont contenus dans certains dépôts stratifiés. Le soufre s'y trouve mélangé à des marnes; il s'isole en veines, en petits amas, en géodes cristallines.

La Sicile renferme les plus importants des gîtes connus, notamment aux environs de Caltanisetta et de Girgenti; sa production annuelle s'est élevée successivement jusqu'à 250,000 tonnes de soufre brut, dont le prix moyen est aujourd'hui d'environ 200 francs la tonne, dans les ports de la Méditerranée.

En Sicile, le soufre en amas lenticulaires, en couches minces, en veinules, en géodes cristallines, pénètre des couches marneuses et calcaires, souvent bitumineuses, avec lesquelles il semble même stratifié. Ces calcaires sont à la partie supérieure de la craie; ils contiennent également du gypse, de la strontiane sulfatée et divers bitumes.

Les plus beaux cristaux de soufre qui se trouvent dans les

collections, viennent de Sicile; on en reçoit également du gîte exploité à Conilla, en Catalogne, dont les conditions sont analogues à celles des gîtes de Sicile, mais avec beaucoup moins de richesse et d'étendue.

Enfin, il existe du soufre compacte, en rognons stratifiés, jaunes ou grisâtres, dans certaines marnes gypseuses et salifères de la Pologne, des Basses-Pyrénées, etc.

Il ne faut pas juger la richesse des gîtes de soufre d'après les échantillons des collections. La masse principale est composée de marnes et d'argiles imprégnées d'une proportion variable. Ainsi, en Sicile, les roches les plus riches donnent un rendement de 25 pour 100; les bonnes donnent 15 pour 100; les médiocres, 8 pour 100. Au-dessous de 5 pour 100, les frais d'extraction ne se trouvent plus compensés.

ACIDE BORIQUE.

L'acide borique ou boracique, existe en paillettes brillantes et nacrées, friables, et pesant seulement 1,48, dans le cratère de Vulcano; il tapisse, avec le soufre, certaines fissures des roches traversées par les émanations volcaniques.

Ce mode de gisement n'a jamais fourni que de très-petites quantités. L'acide borique du commerce est recueilli, soit dans les eaux de certains lacs, soit principalement dans les vapeurs des soffioni de la Toscane.

Les *soffioni* sortent de fissures du sol, à Monte-Cerboli, au sud de Volterra, en Toscane, et encore plus au sud, à Monte-Rotondo et Castel-Nuovo. Sur plusieurs points, les eaux pluviales s'accumulaient autour de ces soufflards volcaniques, qui ont l'apparence de colonnes de vapeurs blanchâtres, et consistent en effet en vapeur d'eau sortant violemment du sol à des températures de 110 à 140°. Cette accumulation des eaux produisait de petites lagunes ou *lagoni*, dans lesquelles les soffioni barbotaient continuellement, et les eaux ne tardaient pas à s'y saturer d'acide borique.

On commença à recueillir cet acide en évaporant l'eau par le combustible; puis on eut l'idée de régulariser le barbotage des soffioni en choisissant les plus riches en acide pour saturer les eaux, et en évaporant ensuite l'eau par la chaleur des soffioni les moins riches. Depuis cette époque, la fabrication de l'acide borique a considérablement augmenté en Toscane; elle est évaluée aujourd'hui, à 30 000 quintaux métriques par année, qui sont livrés au prix de 75 francs le quintal.

L'acide borique est dans ce cas, de même qu'à Vulcano, un produit volcanique. Les soffioni qui l'amènent à la surface du sol, en traversant les calcaires de la craie et les argiles tertiaires, y produisent la formation de veines et de concrétions gypseuses; elles sont en effet chargées d'un peu d'acide hydrosulfurique.

Les applications principales de l'acide borique sont les vernis céramiques, qui consomment la plus grande partie de la production. On en a récemment introduit l'usage dans la fabrication des cristaux de luxe, dans lesquels on a également substitué l'oxyde de zinc à l'oxyde de plomb. La cristallerie boratée à base de zinc est moins lourde et plus dure que la cristallerie à base de plomb; mais le prix élevé de l'acide borique est encore un obstacle à cette fabrication.

CARBONE.

Le carbone pur et cristallisé constitue le **Diamant**, dont les caractères sont :

Couleur. — Blanc limpide, quelquefois coloré en vert, en jaune pâle, en gris enfumé, en noir.

Densité. — 3,55.

Dureté. — Raye toutes les substances connues ; fragile et facilement brisé par le choc.

Formes cristallines. — Octaèdre régulier; dodécaèdre rhomboïdal régulier; modifications multiples déterminant des faces con-

vexes et des arêtes curvilignes; apparence fréquente de grains sphéroïdaux.

Clivages. — 4 clivages faciles conduisant à l'octaèdre régulier.

Réfraction. — *Simple;* mais avec l'indice de réfraction, 2,50, le plus fort des substances limpides. Ce pouvoir de réfraction détermine son éclat, lorsqu'il est taillé; éclat spécial, qui de tout temps, l'a fait rechercher comme pierre d'ornement.

Cassure. — Lamelleuse dans les quatre sens du clivage; vitreuse, avec éclat gras-adamantin, dans un sens transversal.

Brûle sans résidu, à une température très-élevée comme celle qui peut être déterminée par un courant de gaz oxygène, ou entre les deux pôles d'une pile.

S'électrise positivement par le frottement.

Inattaquable aux acides.

Variétés. — Diamant cristallisé, transparent et clivable; diamant vert ou noir, cristallisé, translucide ou opaque; diamant dit de *nature,* cristallin, en boules hérissées de pointements, non clivable, à cassure lamelleuse ou saccharoïde, translucide ou opaque; diamant opaque, gris ou noir, en grains amorphes, à cassure grenue.

Les diamants s'exploitent dans certaines alluvions, où ils ont résisté, en vertu de leur dureté, aux frottements de l'érosion. Quelques alluvions des provinces de Golconde et de Visapour, aux Indes, ont fourni les plus beaux diamants, comme volume et comme eau, mais n'en fournissent presque plus aujourd'hui.

La presque totalité des diamants versés dans le commerce provient des alluvions du Brésil, sur le revers oriental de la chaîne de Las Palmas et d'Espinhaco. Les terrains d'où proviennent ces alluvions diamantifères, sont formés principalement de micaschistes et de quartzites grenus, souvent ferrugineux, dits itacolumites; les sables lavés contiennent, outre les diamants, des quartz cristallisés, des topazes, du rutile, du fer oxydulé, etc...

On exploite même, dans la Serra Grammagoa, l'itacolumite friable et très-cristalline, pour en retirer les diamants disséminés. Plusieurs échantillons de diamant sur gangues sont parvenus en Europe.

Les diamants se vendent au carat, unité toute spéciale qui pèse 4 grains, soit $0^{gr},2055$. On évalue la production annuelle du Brésil de 100 à 120 000 carats, qui, à l'état brut, sont vendus environ 12 millions de francs, et qui, taillés, représentent près du double.

Les plus gros diamants connus pèsent 136 carats (Régent); 186 carats (Ko-hi-nor); 363 carats (rajah de Borneo).

Le prix du carat est excessivement variable, d'abord suivant la limpidité ou ce que l'on appelle l'*eau* du diamant; en second lieu, suivant sa grosseur. Ainsi le prix du diamant pesant un carat, de première eau et taillé en brillant, paraît être aujourd'hui de 300 à 400 francs, tandis qu'il ne valait guère que 200 francs, il y a vingt ans. Ce prix une fois défini, les diamants d'un poids supérieur à un carat, sont estimés en multipliant le prix du carat, par le carré de leur poids. Un diamant taillé, de 2 carats, vaudra 300×4, un diamant de 3 carats 300×9 et ainsi de suite. Quant aux diamants dont le poids est inférieur à un carat, le prix en diminue moins rapidement, car à $\frac{3}{4}$, il coûte 240 francs; à $\frac{1}{2}$, 210; à $\frac{1}{4}$, 180. Nous ne parlons ici que des diamants taillés en brillants ; les diamants plats, taillés en roses, valent en moyenne 33 pour 100 de moins que les brillants.

Les applications du diamant, en dehors de la joaillerie, sont très-restreintes à cause de son prix élevé; elles seraient multipliées, si on pouvait l'obtenir à des prix réduits. Ainsi les diamants amorphes et opaques, non clivables, mais presque aussi durs que les cristaux, ont donné lieu à des applications nombreuses.

L'application la plus ancienne et la plus générale du diamant a été le coupage du verre. Les fragments portant des arêtes curvilignes et provenant du clivage, sont sertis dans un support, de telle sorte, que le tranchant de l'arête puisse être appuyé sur le verre. Le diamant peut dès lors, non-seulement rayer le verre,

mais le couper profondément. Ces éclats se vendent de 50 à 60 francs le carat.

On emploie dans l'horlogerie des lames de diamant, dans lesquelles on creuse de petits trous pour recevoir les axes des pièces oscillantes ou tournantes. On évite ainsi l'usure, et on simplifie l'entretien des montres et des chronomètres.

L'emploi de la poussière de diamant s'est beaucoup répandu pour tailler et polir les substances dures. La poussière de diamant sert, en effet, à tailler et polir le diamant lui-même, à plus forte raison les substances moins dures, telles que les gemmes, le quartz, les granites ou les porphyres.

Dans les ateliers de M. Herman, à Paris, on découpe et l'on taille avec le diamant opaque dit diamant noir, des quantités considérables de roches dures, façonnées en objets d'ornement. A la Ferté-sous-Jouarre, on a appliqué le diamant à la taille des meules de silex.

Plus récemment, M. Leschot, ingénieur, a appliqué le diamant au forage des trous de mine. Son appareil se compose d'un tube portant une couronne en acier, dans laquelle on sertit une série de diamants. Ce tube, appuyé contre les roches et animé d'un mouvement de rotation, y pénètre avec une vitesse variable suivant leur dureté, et y découpe un cylindre facile à détacher du fond. On arrive ainsi à percer rapidement des trous cylindriques dans les roches les plus dures.

Les diamants amorphes employés pour ces divers usages, se vendent de 10 à 20 francs le carat, suivant leur nature plus ou moins cristalline.

Graphite.

Le graphite est un état minéralogique du carbone tout différent du diamant.

Le plus pur, celui de Borrowdale, en Cumberland, a seulement une pesanteur spécifique de 2. Des variétés moins pures pèsent 2,25.

Le graphite contient 96 pour 100 de carbone et 4 pour 100 de

cendres (silice, alumine, oxyde de fer, etc.), quelquefois avec des traces d'éléments gazeux, hydrogène et oxygène.

On le trouve dans certaines roches métamorphiques en paillettes cristallines, ou bien en veines et en petits amas.

C'est une substance d'un gris demi-métallique, bien connue sous la dénomination de mine de plomb, douce au toucher, tendre et tachante.

Ces propriétés ont fait rechercher le graphite pour la fabrication des crayons; mais pour cet usage il faut l'obtenir en masses homogènes, bien cohérentes et qui puissent se couper en petites baguettes. Ce graphite, exploité, par exemple, dans le Cumberland, se vend 30 à 50 francs le kilogramme, prix qui prouve sa rareté.

Quant au graphite noirâtre, peu éclatant, impur et sans consistance, dit *plombagine*, sa valeur est presquenulle. On l'emploie comme couleur noire pour peindre la fonte, l'intérieur des cheminées, etc.; quelquefois comme substance douce et onctueuse pour adoucir les frottements de certains organes mécaniques, par exemple des pistons de soufflerie.

Le graphite en paillettes cristallines, disséminées dans des roches métamorphiques, est évidemment un minéral spécial, semi-métallique, qui semble indiquer que le carbone est dimorphe. On trouve aussi le graphite à l'état lithoïde, passant à l'anthracite, en petites couches stratifiées avec des grès et des schistes profondément altérés. Tel est le gîte du col du Chardonnet près Briançon. Là, le graphite est évidemment une altération des combustibles minéraux, qui, par une action métamorphique, ont perdu complétement leurs éléments gazeux et se sont rapprochés de l'état semi-cristallin qui caractérise cette variété de carbone.

Outre le gîte de Borrowdale, en Cumberland, qui fournit aujourd'hui de faibles quantités, mais qui avait donné autrefois une grande réputation aux crayons anglais; il existe des gîtes importants à Schwarzbach, en Bohême, et en Sibérie, dans le district d'Irkoutsk. On évalue la production de la Bohême à 2 ou 3 000 tonnes par année. Celle de la Sibérie doit également avoir une grande importance, non-seulement par la quan-

tité des produits, mais par sa qualité égale à tout ce que le Cumberland produit de mieux. Ce graphite, exceptionnel par sa pureté, par sa nature brillante et presque cristalline, a été très-remarqué à la dernière exposition universelle.

Anthracites, houilles, lignites.

Le carbone, mélangé et probablement combiné avec des proportions variables d'hydrogène et d'oxygène, constitue des roches; ce sont les combustibles minéraux désignés par les dénominations d'anthracites, houilles et lignites. Nous les décrirons dans cet ordre, qui est précisément celui de leur succession géologique.

Ces roches, dans lesquelles le carbone entre dans des proportions variables de 60 à 90 pour 100, ont des aspects peu variés; la couleur noire donne à toute la série une certaine uniformité. Cependant leurs propriétés combustibles sont tellement différentes, qu'on a toujours cherché à juger d'après les caractères extérieurs les propriétés de chaque variété.

La première qualité d'un combustible minéral est la pureté; et, sous ce rapport, les caractères extérieurs fournissent des indications concluantes. Chacun des trois types possède, en effet, un état vitreux et compacte qui concorde toujours avec le maximum de pureté; ce sont :

1° L'*anthracite vitreux*, ainsi désigné parce que sa texture, son éclat et sa cassure conchoïdale lui donnent, en effet, un aspect vitreux;

2° La *houille spéculaire*, à cassures miroitantes, qui présente tantôt l'aspect vitreux, tantôt le grain plus mat de l'encre de Chine fraîchement brisée;

3° Le *lignite jayet*, à cassure conchoïdale et semi-vitreuse.

Ces trois variétés vitreuses ne constituent, dans les couches d'anthracite, de houille et de lignite, que des veinules qui ont au plus quelques centimètres d'épaisseur; les délits de la stratification y sont peu ou point sensibles, tandis qu'il y existe dans le sens perpendiculaire, des fissures prononcées, qui semblent

des fissures de retrait. Les surfaces de ces fissures présentent souvent des points circulaires, entourés de zones courbes, indiquant à la fois l'homogénéité de la matière et les cassures conchoïdales qui se sont produites, lorsque les surfaces se sont séparées.

A cet état vitreux, les combustibles minéraux ne contiennent que 1 ou 2 pour 100 de cendres; ils sont composés de carbone, comme élément principal, et de proportions variables d'hydrogène et d'oxygène.

L'état habituel des combustibles minéraux est beaucoup moins éclatant et moins pur ; ils contiennent de 5 à 10 pour 100 de matières terreuses ou cendres, quelquefois plus.

Dans beaucoup de cas, la structure présente, dans le sens de la stratification, des zones successives de houille spéculaire et de houille terne et mate, et lorsqu'on isole les parties ternes, on voit qu'elles contiennent 12 à 15 pour 100 de matières terreuses. On est donc conduit à admettre que les combustibles minéraux, lorsqu'ils se mélangent de parties terreuses, deviennent d'un noir d'autant plus terne, que la proportion de celles-ci est plus grande.

On remarque aussi que plus la proportion des cendres s'élève, plus le combustible est stratifié et *platteux*, se rapprochant ainsi de la structure des argiles schisteuses, qui forment généralement le toit et le mur des couches. Les combustibles minéraux, en se chargeant de matières terreuses, se rapprochent surtout des nerfs intercalés dans leur plan de stratification, et formés de *gore*, c'est-à-dire d'argile schisteuse mélangée d'une forte proportion de carbone.

A défaut d'état cristallin, il faut considérer l'état vitreux comme l'état normal des combustibles minéraux. Lorsqu'il s'agit de les analyser et de comparer leur composition, on doit même éliminer des analyses toute substance terreuse étrangère, et ne comparer que les éléments constituants : carbone, hydrogène, oxygène et azote.

Cette étude de la composition des combustibles minéraux a été faite par plusieurs chimistes, et notamment par M. Regnault; le tableau suivant résume les divers résultats auxquels on arrive en réunissant tous ces documents.

	DENSITÉ.	CARBONE.	HYDROGÈNE	OXYGÈNE ET AZOTE.
Anthracite.........	1,46	95,00	2,55	2,45
Houille maigre anthraciteuse......	1,34	92,00	4,28	3,72
Houille grasse......	1,28	85,00	5,35	9,65
Cannel coal........	1,30	85,00	5,70	9,30
Houille maigre à longue flamme.....	1,25	78,00	5,30	16,70
Lignite parfait.....	1,20	74,00	5,10	21,60
Lignite ligneux....	1,00	62,00	5,00	33,00

Ce tableau met en évidence la prédominance du carbone dans tous les combustibles minéraux, qui paraissent être les variétés d'une même espèce.

Si nous examinons d'abord l'anthracite, nous voyons que 5pour 100 d'éléments gazeux, combinés avec le carbone, suffisent pour constituer un combustible minéral. Le carbone, s'il était pur, ne brûlerait pas dans un foyer; sa combinaison avec 2,55 d'hydrogène et 2,45 d'oxygène et d'azote, suffit pour lui donner une propriété nouvelle, celle de pouvoir s'allumer et brûler seul.

L'industrie moderne, n'eût-elle à sa disposition que des anthracites, aurait pu se développer et arriver aux résultats obtenus aujourd'hui; l'Amérique du Nord en a donné la preuve, en créant et développant la métallurgie du fer, la plus difficile de toutes, avec les anthracites de la Pensylvanie. Mais la houille proprement dite a été une grande facilité pour les procédés métallurgiques; on y a trouvé des combustibles à longue flamme pour les fours à réverbère; d'autres collants et faisant facilement la voûte, pour les feux de forge; d'autres, enfin, propres à la fabrication du coke. Or, toutes ces propriétés qui établissent entre les diverses variétés de houille des différences si considé-

rables, pour l'usage et le prix, résultent évidemment des proportions plus ou moins grandes des éléments gazeux.

De l'examen du tableau qui précède, il résulte, en effet :

1° Que de l'anthracite à la houille et au lignite, il y a diminution progressive du carbone, depuis la proportion de 95 jusqu'à celle de 62 pour 100;

2° Qu'une variation de quelques centièmes dans la proportion de l'hydrogène, de 2,55 pour les anthracites à 5,30 et 5,70 pour les houilles maréchales et pour le cannel coal, suffit pour modifier à l'extrême les propriétés combustibles;

3° Que l'augmentation de la proportion de l'hydrogène concorde avec celle de l'oxygène (l'azote se trouvant toujours en proportion minime); mais que la proportion de 10 pour 100 d'oxygène une fois dépassée, le combustible devient d'autant plus maigre et flambant; cette proportion étant de 16 pour 100 dans les houilles maigres à longue flamme, et s'élevant à 21 pour 100 dans les houilles ligniteuses ou lignites parfaits de la Provence.

4° On remarquera, en outre, que, par une coïncidence remarquable, il y a diminution graduelle de la densité, de l'anthracite (1,46), au lignite parfait (1,20); c'est-à-dire à mesure que la proportion des éléments gazeux augmente. En prenant exactement la densité d'une houille, dans son état le plus vitreux et le plus pur, en examinant avec soin les phénomènes de la combustion d'un petit fragment au chalumeau, ou d'un morceau isolé dans un feu ardent, ou mieux encore de plusieurs morceaux réunis sur une grille, on peut dire à peu près, quelle est sa composition en carbone, hydrogène et oxygène. Ces essais doivent se faire sur des échantillons aussi purs que possible, car les cendres tendent toujours à masquer les propriétés des houilles.

Au point de vue du géologue, les combustibles minéraux ne sont point des minéraux proprement dits; ce sont des débris végétaux plus ou moins transformés, de véritables fossiles qui ont plus ou moins conservé la composition de leur point de départ, c'est-à-dire des végétaux, décomposés par des phénomènes analogues à ceux qui donnent lieu à la formation des tourbes.

Dans les eaux des tourbières, les racines des végétaux qui se

développent à la surface et les plantes aquatiques qui partent du fond, forment un feutrage, qui se développe rapidement et subit une décomposition particulière. La décomposition n'est pas putride comme celle des végétaux qui pourrissent dans nos forêts; elle a pour résultat d'isoler et de fixer le carbone. La tourbe et les bois fossiles qu'elle renferme, sont donc les expressions actuelles, de cette décomposition particulière des végétaux, que l'on appelle le tourbage.

Ces phénomènes, d'un grand développement de végétaux et de leur tourbage sur place, ont existé à toutes les époques géologiques; on présume qu'ils ont été d'autant plus énergiques que la température du globe était plus uniforme et plus élevée, et que l'atmosphère était plus chargée d'acide carbonique; circonstances qui ont dû accélérer la végétation. Il est donc naturel de trouver dans la série géologique des terrains, les débris de ces actions, sous forme de couches de combustibles plus ou moins analogues aux tourbes de l'époque la plus moderne. Or, les combustibles minéraux que nous présente l'échelle géologique des terrains, s'éloignent d'autant plus des tourbes, qu'ils sont plus anciens; de telle sorte que la série minéralogique indiquée par le tableau est en même temps la série géologique indiquant leur succession.

Le mode de décomposition aurait été d'autant plus énergique que l'époque était plus ancienne, et il aurait eu pour effet d'enlever aux végétaux des quantités d'oxygène, d'azote et même d'hydrogène, d'autant plus grandes; de là l'isolement du carbone presque complet dans les anthracites, et qui, pour certains terrains très-métamorphiques, va même jusqu'au graphite, c'est-à-dire à 96 et 98 pour 100.

D'après cette explication, il n'y aurait réellement pas, dans la série des combustibles minéraux, d'espèce minérale en proportions définies, mais diverses variétés de roches, d'autant plus riches en carbone et d'autant plus denses, qu'elles appartiennent à des terrains plus anciens, soit à des terrains plus métamorphiques.

Les caractères minéralogiques des combustibles minéraux ne suffisent pas pour les faire distinguer les uns des autres, lors

même que ces combustibles sont purs. Il faut nécessairement avoir recours à des essais et à des expériences de combustion pour en apprécier les propriétés et la valeur ; à plus forte raison devra-t-on procéder à des essais pour apprécier la quantité et la nature des cendres qui en altèrent la pureté.

Les cendres sont, en général, composées de silicate d'alumine. En effet, c'est surtout l'argile qui accompagne les couches de houille, en nerfs intercalés, et qui en forme le toit et le mur; il est donc naturel de la trouver mélangée dans la stratification même des combustibles minéraux ; les éléments décomposés des végétaux ont évidemment subi, en beaucoup de points, l'action sédimentaire des eaux qui opérait des lavages partiels, des transports et des mélanges avec les substances étrangères. On trouve souvent, dans les cendres, du quartz en excès, provenant des grès qui constituent la masse principale des terrains houillers. Les cendres exclusivement argileuses ou quartzeuses sont blanches ou grisâtres. Lorsqu'elles sont rouges ou rougeâtres, ce qui arrive quelquefois, elles sont ainsi colorées par l'oxyde de fer qui résulte de la calcination des pyrites et du carbonate de fer mélangés à l'argile.

La pyrite et le carbonate de fer s'isolent souvent dans la houille elle-même. La pyrite en paillettes, rognons ou cristaux. Le fer carbonaté lithoïde en rognons aplatis, soit en petits nerfs ou barres ; son mélange avec l'argile se reconnaît facilement par l'excès de densité.

Lorsque ces substances se trouvent en rognons ou fragments distincts et assez volumineux, le triage les écarte; mais lorsqu'elles sont intimement mélangées, elles altèrent les qualités du combustible. Le carbonate de fer peut être un peu mélangé de phosphate, et les cendres devenir ainsi de mauvaise nature ; enfin la pyrite rend les combustibles sulfureux, ce qui est encore plus fréquent et plus mauvais pour les opérations métallurgiques. Le soufre est, en effet, tellement tenace, qu'il reste en grande partie dans les cokes, malgré la calcination prolongée à laquelle les charbons ont été soumis.

Les charbons considérés en grandes masses, après les triages, et entassés sur les rivages ou ports d'expédition, contiennent, en général, de 5 à 12 pour 100 de cendres.

L'*acide carbonique* et le *grisou* (hydrogène protocarboné) se dégagent de la houille dans un grand nombre d'exploitations; le caractère de ces deux gaz, et surtout leur densité, si différente de celle de l'air atmosphérique, permettent de les reconnaître.

L'acide carbonique occupe toujours les parties inférieures des excavations où il tend à se liquater. Dans les travaux souterrains, il paraît se former par une sorte de décomposition ou combustion à basse température des charbons menus, surtout variétés les plus oxygénées. Les menus entassés s'échauffent progressivement, en émettant des quantités croissantes d'acide carbonique, et, si on laisse l'effet se continuer, la température s'élève jusqu'à ce que les tas finissent par prendre feu. On attribue à tort cette combustion spontanée aux pyrites souvent mélangées aux charbons; en réalité, les charbons les plus chargés de pyrites ne sont pas ceux qui s'échauffent le plus facilement; ce sont toujours ceux qui sont les plus riches en oxygène, tels que les houilles maigres à longue flamme et les lignites.

Le grisou, au contraire, se dégage réellement de la houille qu'il imprègne, ou des fissures dans lesquelles il est emmagasiné. En vertu de sa très-grande légèreté, il monte et s'isole dans les parties supérieures des excavations. Les mélanges de 1/15 à 1/7 avec l'air atmosphérique, détonent avec violence lorsqu'ils sont enflammés, et causent des accidents graves qu'on n'est pas encore arrivé à éviter complétement, malgré les précautions de l'aérage et des lampes de sûreté. Ce sont surtout les houilles grasses qui donnent lieu à ces dégagements de grisou.

Les principaux types des combustibles minéraux, sont en France et en Belgique

Anthracites......	La Mure (Isère), Saint-Michel (Savoie), le Creuzot, la Theurrée-Maillot (Saône-et-Loire), Le Marais (Allier).

Houilles maigres anthraciteuses..	Dans le Nord, Fresne, Vieux-Condé, Vicoigne; A Charleroi, Oignies, Tamines, Courcelles, etc.; A Saint-Étienne, Comberigol, Lavaure.
Houilles à coke et à gaz.........	Saint-Étienne, Meons, Firminy, Montrambert, Roche-la-Molière, Rive-de-Gier; Dans le Gard, Bessége et Grand'-Combe; Dans Saône-et-Loire, Montceau-les-Mines; Dans le Nord, Denain, Abscon, Douchy. Pas-de-Calais, Nœux, etc.
Houilles maigres à longue flamme.	Commentry, Blanzy, Lucy, Aubin, Decazeville.
Lignites parfaits..	Fuveau, Manosque.

Nous donnerons quelques détails sur ces diverses variétés.

Anthracite. — Le type de l'espèce peut être pris dans le bassin de Pensylvanie (Amérique), soit dans celui de La Mure (Isère).

En examinant les parties pures et vitreuses, à cassure conchoïdale, on voit que l'anthracite est caractérisé par une couleur d'un noir intense, complétement opaque, avec un éclat spécial, qui tient le milieu entre le noir lithoïde de la houille et l'éclat semi-métallique du graphite.

La densité est 1,46, et l'hectolitre pèse de 95 à 100 kilogrammes. La dureté de l'anthracite est également supérieure à celle des autres combustibles minéraux.

Les anthracites sont surtout caractérisés par les phénomènes de leur combustion. Ils ne brûlent qu'en masse assez considérable, sur une grille et avec un tirage très-fort. Ils sont difficiles à allumer, et se consument lentement, avec une flamme bleue, très-courte.

Les fragments une fois en combustion se fendent et décrépitent, ne se soudent pas entre eux; ils diminuent de volume sans se déformer. La décrépitation de l'anthracite est le plus grand obstacle qu'on ait à surmonter pour les applications industrielles.

Ces phénomènes de la combustion de l'anthracite sont tellement spéciaux et différents de ceux que présente la houille,

qu'il n'est pas besoin d'autres caractères; quand on les a observés pendant quelques heures en alimentant un foyer, on en conservera la mémoire de manière à ne jamais confondre ce combustible avec les autres.

Mais il existe des houilles maigres, à courte flamme, qui se rapprochent de l'anthracite proprement dit, et forment un passage graduel de l'anthracite à la houille.

Ces houilles-anthracites forment, par exemple, les couches inférieures, sur quelques points des bassins houillers du nord de la France; elles brûlent avec une flamme bleue très-courte, et leur emploi dans les usines exige, en général, un tirage forcé par des jets de vapeur ou des ventilateurs.

Dans les exploitations d'anthracite, les gros et les gailleteries sont réservés aux consommations industrielles et domestiques; les menus sont employés pour les agglomérés, et surtout pour les usages de briqueterie et de chaufournerie, usages pour lesquels la lenteur de la combustion est précisément une condition recherchée.

Les anthracites sont les combustibles qui ont le plus de tenue au feu et le plus grand pouvoir calorifique; ils seraient très-recherchés s'ils n'avaient le grand inconvénient de décrépiter. Les anthracites de la Pensylvanie, qui décrépitent beaucoup moins que les nôtres, ont pu être appliqués au chauffage des locomotives, aux hauts-fourneaux et à presque tous les usages des usines métallurgiques.

Houilles. — Les diverses qualités de houilles forment une série très-complexe. Dans chaque bassin, les consommateurs ont établi des distinctions qui peuvent paraître minutieuses et exagérées, lorsqu'on les étudie sur des échantillons, mais qui, sous le point de vue de la consommation et des applications, sont justifiées par des différences très-réelles. Les moindres différences dans la composition et dans les conditions d'agrégation se traduisent par des propriétés qui peuvent faciliter les opérations industrielles.

L'élément le plus simple de la classification est l'emploi même

de la houille qui, suivant ses qualités, sera de préférence appliquée à la forge, à la fabrication du coke ou du gaz.

Voici comment s'établit la série des houilles à partir de l'anthracite :

1° Houilles maigres anthraciteuses;
2° Houilles demi-grasses;
3° Houilles grasses maréchales;
4° Houilles à gaz, Flenu, cannel-coal;
5° Houilles maigres à longue flamme.

Beaucoup de variétés viennent s'intercaler entre ces divers types, dont la composition présente une décroissance dans la proportion du carbone, du n° 1 au n° 5; une progression dans la proportion de l'hydrogène, du n° 1 au n° 4; enfin une progression dans la proportion de l'oxygène et de l'azote, du n° 1 au n° 5; conformément aux chiffres précédemment indiqués.

Dans les trois variétés 2, 3 et 4, on peut trouver des charbons propres à la fabrication du coke, les variétés 1 et 5 étant tout à fait impropres à cette transformation.

Ainsi, les houilles peuvent être maigres ou sèches, de deux manières très-différentes: d'abord par la faible proportion des éléments gazeux, hydrogène et oxygène; en second lieu, par l'excès de la proportion de l'oxygène sur celle de l'hydrogène.

Houille maigre anthraciteuse. — Sous cette dénomination on comprend une série de qualités, dont les types peuvent être pris dans le bassin de Charleroi. On sait que ce bassin contient environ quatre-vingts couches exploitables; les couches inférieures vers Namur, sont tellement maigres, qu'elles peuvent souvent être assimilées à l'anthracite. Mais, vers le nord-ouest, ces couches sont moins dépourvues d'éléments gazeux, et à mesure qu'on s'élève dans la série géologique des dépôts, les charbons, toujours désignés comme maigres, deviennent un peu plus flambants. Ils sont moins difficiles à allumer, décrépitent moins et donnent lieu à un simple pétillement caractéristique, lorsqu'on les chauffe brusquement; enfin, ils brû-

lent avec une flamme courte, mais blanche, et qui ne devient bleue que lorsque le fragment est bien en combustion, et continue à brûler comme un morceau de coke. Une vingtaine de couches présentent ce caractère mixte, depuis les exploitations des environs de Châtelet, jusque vers Courcelles. Ces charbons deviennent d'autant plus flambants, et, par conséquent, moins anthraciteux, que les couches d'où ils proviennent sont plus élevées dans la série géologique; le passage à la houille demi-grasse se faisant ainsi par nuances insensibles.

Les consommateurs et les marchands de charbon connaissent tellement bien ces nuances, que les prix de ces houilles se sont établis à des taux très-différents, suivant l'élévation des couches dans la série, et suivant que le charbon maigre, se rapproche de l'anthracite ou du demi-gras. Ces houilles contiennent sur 100 parties

En carbone................	de	90 à 92
En hydrogène.............	de	3 à 4
En oxygène...............	de	5 à 6

Quant aux caractères physiques, les charbons maigres anthraciteux sont en général plus denses et plus durs que les demi-gras. Ils pèsent 90 kilogrammes l'hectolitre; à l'abatage, quand la couche est saine, ils rendent de 45 à 55 pour 100 de gros et de gailletteries. Ils sont d'un noir plus pailleteux et plus éclatant que les demi-gras, et tachent peu, si ce n'est dans les délits de la stratification, où l'on remarque souvent des parties pulvérulentes ayant l'apparence de charbon de bois très-léger.

Houilles demi-grasses. — La transition de la houille maigre proprement dite à la houille demi-grasse, s'observe très-bien par les détails de la combustion dans un foyer.

Les houilles maigres les plus élevées dans la série, lorsque des fragments anguleux sont soumis à l'action d'une chaleur intense, se déforment un peu; des faces planes deviennent courbes, et certaines parties produisent ce que les praticiens appellent la *griffe*, c'est-à-dire se gonflent et se courbent par l'effet d'une sorte

de fusion. Ce symptôme d'une certaine proportion d'élément gazeux ne suffit pas pour constituer un charbon demi-gras. Il faut que la fusion soit plus prononcée, et que les fragments éprouvent une déformation à peu près complète en présentant ce que l'on appelle le *chou-fleur*.

Cependant, les charbons demi-gras ne sont pas propres à la fabrication du coke; on n'y emploie que les variétés les plus riches en gaz, et encore ces variétés exigent-elles, pour fournir un coke solide et bien cuit, les fours à sole et parois chauffées, dans lesquels la chaleur est poussée à son maximum.

La composition des charbons demi-gras, varie

En carbone...............	de	87	à	89
En hydrogène.............	de	4	à	5
En oxygène et azote.......	de	6	à	8

Les types les meilleurs, et qui forment la série la mieux graduée des charbons demi-gras, peuvent encore être pris dans les bassins de la Belgique et du nord de la France. Dans le Nord, on trouve, comme à Charleroi, des séries de vingt couches et plus, qui se rapportent à ce type, et forment un passage entre les charbons maigres et les charbons réellement gras.

Ces demi-gras flambent tous, leur flamme est courte, mais blanche, et non fuligineuse; l'odeur du goudron est faible lorsqu'ils sont en combustion, mais elle existe. Tous forment le chou-fleur et se contournent lorsque le feu est vif. Les variétés les plus riches en gaz s'agglutinent au simple foyer, et dans les fours très-chauds peuvent fournir un coke passablement soudé, mais dans lequel on distingue encore la plupart des morceaux qui ont été réunis par cette demi-fusion.

Les houilles demi-grasses sont des *charbons de grille*, très-recherchés à cause de leur tenue au feu. Dans les essais comparatifs faits pour constater la quantité d'eau vaporisée, ces charbons tiennent le premier rang comparativement aux qualités qui suivent.

Houilles grasses maréchales. — Cette classe comprend toutes les houilles grasses, et par conséquent fusibles, dont les frag-

ments se collent au feu, et dont on peut ainsi agglomérer les menus en faisant la voûte dans les foyers de forge, d'où est venue cette dénomination de houille maréchale ou charbon de forge. Ces mêmes qualités sont toutes propres à la fabrication du coke, et peuvent être cuites dans les fours simples.

Dans les foyers, les houilles grasses brûlent avec une flamme longue, fuligineuse, toutes les fois que l'on charge du combustible ou que le tirage n'est pas très-vif. Les fragments se soudent, et, sur beaucoup de points, on voit en quelque sorte le goudron couler, en lançant de petits jets d'une flamme vive comme celle d'un chalumeau. Grâce à cette propriété collante, on peut brûler les menus, même dans un foyer domestique; les petits fragments se prenant en masse et se transformant en coke.

Ces qualités sont celles qui donnent le plus de fumée, et cette fumée a une odeur goudronneuse caractéristique. Elles conviennent moins pour les usages de grille, que les demi-grasses ou les maigres à longue flamme, parce que la masse en combustion ne forme bientôt plus qu'un gâteau poreux, dans lequel l'air circule difficilement, et que les chauffeurs sont obligés de briser à coups de ringard. Mélangées en diverses proportions avec les variétés maigres, elles peuvent cependant être employées comme charbons de grille; mais leur application réelle est la forge, depuis la petite forge maréchale, jusqu'aux grandes forges, dans lesquelles on fait chauffer les plus fortes pièces de machines.

Ces charbons sont d'un noir intense, avec poussière noire; ils sont plus fragiles que toutes les autres variétés; beaucoup de couches ne donnent même que des menus. Ce sont les seuls qui conservent à peu près leur valeur en tout venant, et qu'on ne crible pas en gailletteries.

Il est à remarquer que dans un bassin houiller qui contient des couches de qualités diverses, les couches grasses sont toujours plus accidentées et plus friables que les autres. Telle est la tendance de ces charbons à se réduire en menus, que dans les exploitations, les galeries s'encombrent de poussières; dans les chantiers d'abatage, l'air tient en suspension les poussières les plus fines qui, exhalant une légère odeur, pénètrent

dans les narines et s'incrustent dans la peau, au point qu'il est difficile de s'en débarrasser complétement.

Ces houilles sont légères et ne pèsent que de 80 à 85 kilogrammes l'hectolitre.

Leur composition est :

Carbone............	de	83,00	à	87,00
Hydrogène..........	de	4,80	à	5,20
Oxygène et azote.....	de	12,20	à	7,80

Les charbons du bassin de la Loire nous présentent la série la plus complète des houilles grasses, parmi lesquelles on choisit généralement les plus riches en carbone pour la fabrication du coke, tandis que celles qui sont les plus gazeuses sont employées pour la forge et la fabrication du gaz. Dans le bassin du Gard, les houilles grasses sont également dominantes. Dans le Nord et le Pas-de-Calais, on en trouve des séries de couches d'excellente qualité, à Denain, Douchy, Nœux, Béthune, etc.

Houilles à gaz. — Les couches qui contiennent d'une manière constante le maximum d'hydrogène, de 5,20 à 5,80 pour 100, forment des qualités spéciales pour la fabrication du gaz; non-seulement elles fournissent le rendement le plus considérable, mais leur gaz est le plus éclairant.

Ces variétés présentent des caractères identiques à ceux des houilles grasses maréchales, mais une circonstance remarquable conduit à les isoler, c'est leur tendance à prendre la texture compacte et caractéristique du *cannel coal*.

Le cannel coal s'isole souvent, dans les houilles qui contiennent le maximum d'hydrogène, en petits lits ou sillons, parallèles à la stratification, ayant depuis quelques centimètres, jusqu'à $0^m,60$ d'épaisseur et même au delà. La houille grasse pailleteuse et brillante adhère quelquefois au cannel coal de manière à présenter une sorte de passage minéralogique.

Le cannel coal est compacte, sonore, à cassure conchoïdale. Il est peu fissuré et susceptible de poli, de telle sorte, qu'on a pu le tailler et le tourner pour en fabriquer divers objets. Sa

pesanteur spécifique est 1,30, et il contient de 5,70 à 5,80 d'hydrogène. Il brûle avec une flammme longue et blanche qui lui avait fait donner le nom de *candle-coal*, et, malgré sa composition, n'est pas un charbon collant.

Les charbons les plus recherchés pour le gaz, tels que, le Leverson, le Stella, etc., à Newcastle, et la couche des Littes, à Montrambert, dans le bassin de la Loire, sont livrés en tout venant et sont quelquefois parsemés de fragments de cannel coal qui ne gênent pas la formation du coke.

Houilles maigres à longue flamme. — Type en couches très-puissantes, dans les bassins du centre de la France, et notamment à Blanzy (Saône-et-Loire) et Commentry (Allier).

Les houilles maigres à longue flamme ont un aspect moins brillant que celui des houilles grasses; elles ont une tendance à avoir une poussière rougeâtre. Elles sont généralement solides et platteuses, et lorsqu'elles sont pures, leur aspect mat rappelle un peu celui du cannel coal. Elles sont peu denses, l'hectolitre pèse à peine 80 kilogrammes.

Elles s'allument facilement, brûlent avec une flamme longue et claire; les fragments en combustion ne fondent ni ne se collent entre eux, et, dès qu'ils n'émettent plus de flamme, ils ne laissent qu'un coke très-léger, qui achève promptement de se consumer. Ce sont des charbons qui flambent bien, mais qui passent vite et ont peu de tenue au feu; ils donnent une cendre volumineuse et très-légère. Ils peuvent être employés à la fabrication du coke, mais ne laissent dans les cornues qu'un coke léger et friable. Ce sont les houilles les plus oxygénées.

Leur composition est

Carbone............	de	76,00	à	80,00
Hydrogène..........	de	5,25	à	5,50
Oxygène et azote....	de	14,75	à	18,50

Les houilles maigres à longue flamme, forment d'ailleurs une série de qualités, parmi lesquelles les moins oxygénées s'élèvent à une qualité de demi-grasses, et peuvent fournir du coke au moyen des fours les plus énergiquement chauffés. Les plus

oxygénées se rapprochent au contraire du lignite parfait, qui continue la série.

Lignite parfait. — Le bassin tertiaire de Fuveau, près Marseille, est le gisement classique du lignite parfait : là, ce charbon atteint en quelque sorte tout le pouvoir calorifique dont il est susceptible. Il constitue plusieurs couches dans lesquelles on ne trouve aucune partie ligneuse, et l'on pourrait dire que la décomposition des végétaux a été presque aussi complète que pour la houille, si la proportion d'oxygène n'attestait un rapprochement sensible vers la composition des accumulations ligneuses qui les ont produits. La composition du lignite de Marseille est :

Carbone	74
Hydrogène	5
Oxygène et azote	21

La densité est de 1,20.

Le caractère le plus spécial de ces lignites est leur aspect terne et mat, leur sonorité et leur solidité. Lorsque les couches ne sont pas altérées par des accidents, on peut y faire 75 à 80 pour 100 de gros et de gailletteries.

Au feu, ces lignites sont faciles à allumer, et brûlent avec une flamme très-longue et très-claire, mais sans faire de coke, et par conséquent avec peu de tenue. La fumée a une odeur qui n'est déjà plus celle de la houille, et qui rappelle un peu l'odeur de l'acide pyroligneux.

En Italie, il existe un assez grand nombre de bassins ligniteux, dans lesquels on trouve ce combustible avec une assez grande variété de caractères, mais sans que ces caractères s'éloignent beaucoup du type de l'espèce.

Lignites ligneux et tourbes. — Certaines variétés parmi les lignites parfaits ont une tendance à se rapprocher des lignites ligneux, c'est-à-dire à présenter des parties fibreuses dans lesquelles on reconnaît le tissu végétal.

Les lignites ligneux forment souvent des accumulations lenticulaires, plutôt que des couches régulières. Dans ces accumu-

lations, on trouve des arbres entiers à l'état noir, ligniteux, et des feuilles qui ont permis, dans beaucoup de cas, de reconnaître des essences analogues à celles qui végètent maintenant dans les mêmes climats. Souvent dans les terrains ligniteux, il existe des argiles noires et très-riches en carbone, qui contiennent des veines et de petits amas de jayets compactes et éclatants.

On conçoit qu'il est difficile d'indiquer une composition fixe pour des éléments si divers; mais, en analysant le lignite ligneux le plus noir et le plus riche en carbone, on trouve :

Carbone	62
Hydrogène	5
Oxygène et azote	33

La densité est réduite à 1.

Au feu, ces lignites exhalent une fumée pyroligneuse, qui corrode rapidement les tuyaux en tôle dans lesquels elle passe; ils brûlent presque à la manière du bois.

Les lignites appartiennent à des terrains très-modernes, et se lient aux tourbes qui terminent la série des combustibles minéraux, par des passages géologiques insensibles.

Les *tourbes* sont tellement caractérisées par leur tissu ligneux et spongieux, qu'il n'est pas besoin d'insister sur les autres caractères; ce sont des végétaux en décomposition, plutôt que des substances minérales, et leur formation paraît se continuer de nos jours, dans les plaines basses et marécageuses couvertes de nappes d'eau semi-stagnantes.

On distingue les tourbes *mousseuses*, formées de petits végétaux ligneux, entrelacés et feutrés, des tourbes *feuilletées*, qui semblent résulter de l'entassement de feuilles plates, analogues à des feuilles de roseaux, couchées et superposées de manière à déterminer une sorte de stratification.

Ce qui est surtout à remarquer dans les dépôts tourbeux, c'est qu'ils sont formés de petits végétaux. Les grands arbres que l'on y trouve couchés, surtout à la partie supérieure, ne sont qu'accidentels. Ces arbres se sont développés sur le sol supérieur des tourbières, tandis que les petits végétaux de la surface

et du fond se développaient, se feutraient et se décomposaient de manière à produire la tourbe ; ils ont été ensuite renversés et enfouis dans cette tourbe, où ils se trouvent surtout vers le toit des couches, de manière à y former de véritables fossiles. Les géologues ont vu dans ces dispositions, des analogies avec celles des grands végétaux fossiles, qui se trouvent aussi dans les roches du toit des couches de houille.

Bitumes. — Pétroles.

Les bitumes et les pétroles sont des carbures d'hydrogène, qui se rapprochent souvent des combustibles minéraux par les circonstances de leur gisement, et quelquefois en sont au contraire indépendants.

Les pétroles et les naphtes naturels, plus ou moins liquides et plus ou moins colorés, forment une série de carbures d'hydrogène simples ; les bitumes visqueux ou solides, et de couleurs brunes ou noires, sont des carbures d'hydrogène plus ou moins oxygénés. Ainsi, la composition du pétrole étant :

Carbone	88
Hydrogène	12

on peut, à partir de cette substance, obtenir une série de bitumes liquides, visqueux et solides, en introduisant et augmentant progressivement l'oxygène, et diminuant l'hydrogène, jusqu'à ce que l'on arrive à la composition de la houille.

Les bitumes ne se rencontrent, à peu près purs, que dans des circonstances très-exceptionnelles. On peut bien en recueillir quelques fragments ou blocs; mais, pour arriver à une production importante, il faut, en général, exploiter des terres imprégnées, dont on dégage le bitume par le chauffage et la liquation. C'est ainsi que sont obtenus les bitumes qui nous arrivent à peu près purs du Mexique et de l'île de la Trinité.

On donne spécialement le nom d'*asphalte* à des calcaires fortement imprégnés de bitume, dont on fait un usage tellement répandu pour dallages, trottoirs, et même pour remplacer le

pavage, que la production annuelle de la France est évaluée à plus de 10000 tonnes.

L'asphalte de Seyssel, qui peut être considérée comme un type, est un calcaire qui ne contientque 7 à 10 pour 100 de bitume. Ce calcaire se délite en petits fragments, lorsqu'il reste exposé à la chaleur solaire; propriété qui a été mise à profit. En chauffant doucement et bien également la roche asphaltique dans des cornues, on détermine, en effet, un décrépitement et une véritable pulvérisation; c'est cette poussière brun rougeâtre qui, étendue à chaud et pilonnée sur le sol des rues, remplace souvent le pavage.

Le calcaire asphaltique, fondu avec $\frac{1}{12}$ ou $\frac{1}{15}$ de bitume pur, soit de brai provenant de la distillation des goudrons, forme l'asphalte des terrasses, trottoirs, etc.

D'après un travail spécial de M. Malo, les bitumes-asphaltes proviennent des localités suivantes :

Bitume imprégnant les calcaires.....	de Seyssel et Volant ; du Val-de-Travers ; de Lobsann ; de Clermont, Pont-du-Château ; de Chavaroche ;

localités qui, à l'exception de Clermont, se trouvent précisément suivant une ligne nord-sud, tracée de Chambéry à Wissembourg.

Lorsque les bitumes imprègnent des roches siliceuses, les propriétés de ces roches sont tout à fait différentes. Le mélange est, en effet, beaucoup moins intime. En chauffant la roche, le sable tombe au fond, et le bitume épuré s'obtient par décantation. Les principaux gîtes sont en France :

Bitumes imprégnants des roches siliceuses.	de Bastennes (Landes); de Pyrimont, Seyssel; de Clermont, Chamalières.

Ces bitumes épurés servent précisément au mélange avec les calcaires asphaltiques.

Enfin, dans beaucoup de cas, le pétrole visqueux ou liquide coule des fissures du sol et forme de véritables sources. Dans cette classe de gîtes on peut citer :

Naphte en sources, des terrains houillers;

Pétrole de Gabian (Hérault);

Pétrole du Puy-de-la-Poix (Auvergne);

Pétrole de l'Amérique du Nord.

On cite, en effet, dans certains bassins houillers, plusieurs exemples de sources naturelles de naphte ou pétrole plus ou moins noir. Auprès de Gabian, vers le contact du terrain houiller avec des basaltes qui ont traversé et métamorphisé les roches, se trouve une source de pétrole. Au Puy-de-la-Poix, près Clermont, un pétrole très-noir et visqueux sort de wackes volcaniques qui ont traversé les terrains tertiaires.

Plusieurs volcans, et notamment le Vésuve, ont émis à plusieurs reprises, parmi les gaz qui sortent des cratères, des vapeurs bitumineuses, qui se condensent dans l'atmosphère et retombent en pluie. On suppose que les bitumes ainsi entraînés par les éruptions gazeuses, proviennent de la distillation de dépôts combustibles, traversés par les fissures et conduits volcaniques.

La découverte des nombreux gîtes de pétrole de la Pensylvanie eut lieu en 1858, aux environs de Titusville. En 1859, on comptait déjà plus de cent puits creusés pour l'exploitation de ces huiles; aujourd'hui, il y en a quatre ou cinq mille creusés en Pensylvanie, dans la Virginie, l'Ohio et jusque dans le Canada. On évalue la production journalière à plus de 1 000 mètres cubes.

On a supposé que l'existence de cette vaste nappe souterraine de pétrole, se liait aux terrains houillers des mêmes contrées, dont les couches combustibles sont à l'état d'anthracite. Mais ce pétrole est compris dans le terrain silurien, inférieur aux roches carbonifères; il faut donc admettre que la distillation a dû amener ses produits par des conduits latéraux et par une sorte de drainage, dans les terrains inférieurs où ils ont été condensés.

M. Stevens a constaté l'existence de pétroles et de bitumes, liquides, visqueux ou solides, dans tous les étages siluriens.

Les observations suivantes ont été faites, par M. Weil, sur les huiles de pétrole de Pensylvanie, qui arrivent en très-grande quantité en Europe et dont l'emploi pour l'éclairage se généralise de plus en plus.

« *Densité de l'huile de pétrole.* — La densité de l'huile soumise à l'essai est de 0,82426, c'est-à-dire que 100 litres d'huile pèsent 82k,426.

« *Composition brute.* — 100 kilogrammes d'huile de pétrole soumis à l'essai donnent par la distillation :

1° Huile brute de couleur jaune composée d'hydrocarbures liquides	90,14
2° Bitume	5,64
3° Gaz et perte	4,22
Total	100,00

« *Composition de l'huile brute.* — Les 90,14 parties d'huile brute ont donné :

1° Naphte incolore très-léger, renfermant une sorte de benzine (distillé à la température de 65 à 100° centigrades)	7,64
2° Hydrocarbures liquides, légers, de couleur faiblement ambrée (distillés de 100 à 200° centigrades).	27,50
3° Hydrocarbures liquides, limpides, de couleur plus jaune que les précédents (distillés de 200 à 250° centigrades)	15,28
4° Hydrocarbures liquides, limpides, d'un jaune foncé rougeâtre, renfermant de petites quantités de paraffine (distillés de 250 à plus de 315 centigrades)	35,33
5° Derniers hydrocarbures, formant une huile épaisse, presque concrète, de couleur brun rougeâtre, renfermant beaucoup de paraffine	1,00
6° Hydrocarbures gazeux et charbon fixe	3,39
Total	90,14

« *Produits obtenus par l'épuration de l'huile brute.* — Il a été traité à froid 90,14 parties d'huile brute résultant de la distilla-

tion de 100 parties de pétrole par la quantité convenable d'acide sulfurique concentré. Après agitation, l'expérimentateur, M. Weil, a laissé déposer quarante-huit heures, et il a obtenu par décantation et après épuration par la chaux caustique :

Huile épurée, limpide et incolore	73,00
Goudron et perte	17,14
Huile brute employée	90,14

« L'huile brute a donc perdu par l'épuration un peu plus de 19 pour 100 de son poids.

« *Distillation fractionnée de l'huile épurée.* — Les 73 parties d'huile épurée ont donné :

Naphte benziné	4,7
Huile d'éclairage incolore	55,0
Huile moins légère paraffinée et colorée	12,0
Résidu charbonneux et perte	1,3
TOTAL	73,0

« *Rectification du naphte.*—Les parties de naphte ont donné : deux parties d'hydrocarbure très-léger ayant à peu près la nature et les propriétés de la benzine, c'est-à-dire dissolvant le caoutchouc, le soufre, le phosphore et beaucoup de corps gras et résineux, et donnant avec l'acide nitrique un composé analogue à l'essence de mirbane.

« En résumé, 100 kilogrammes d'huile de pétrole donnent en produits d'une valeur commerciale :

55,00 d'huile légère d'éclairage, incolore.
4,70 de naphte benziné.
12,00 d'huile paraffinée.
5,64 de bitume. »

Ce travail de M. Weil nous paraît définir exactement les pétroles d'Amérique, et en même temps, permettre leur assimilation aux produits obtenus par la distillation des houilles.

Nous rapportons à la même origine les pétroles qui, dans beaucoup de formations, imprègnent des roches argileuses dé-

signées sous les noms de *schistes bitumineux* ou de *boghead.*

Succin. — Le succin, plus connu sous le nom d'*ambre* jaune, est une résine qui se trouve en nodules isolés dans certains dépôts de lignites tertiaires ou quaternaires, et qui provient évidemment des exsudations de certains végétaux de cette époque.

Cette résine, jaune clair ou jaune rougeâtre, transparente ou translucide, est fusible et combustible. Sa densité est 1.

Le succin est fragile, rayé par l'acier, mais compacte et susceptible d'un assez beau poli ; il est remarquable par la facilité avec laquelle il s'électrise par le frottement. Il a quelquefois une odeur assez marquée, due à l'acide succinique dont il contient des proportions variables.

On le trouve dans beaucoup de gîtes de lignites et principalement sur les côtes de la Baltique, de Memel à Dantzick, où l'action des eaux de la mer le détache des terrains tertiaires ligniteux.

On emploie le succin dans la grosse bijouterie et pour divers objets d'ornement; on le recherche surtout lorsqu'il contient dans l'intérieur des insectes ou des débris de végétaux.

QUARTZ.

Silice. *Si.*

Couleurs. — Blanc limpide, dit quartz-hyalin ou cristal de roche; violet améthyste; jaune, dit fausse topaze; gris enfumé.

Densité. — 2,65.

Dureté. — Rayé seulement par les gemmes; n'est pas rayé par l'acier ; raye le verre.

Clivages. — Point de clivages. Cassure inégale et vitreuse, quelquefois conchoïdale, éclat gras.

Formes cristallines. — Prisme hexagonal régulier bipyramidé, dérivé d'un rhomboèdre de 94°.

Réfraction. — *Double*, visible seulement à travers des plaques taillées obliquement à l'axe du rhomboèdre.

Inattaquable aux *acides.* Infusible au *chalumeau.*

L'analyse du quartz hyalin donne exactement la composition de la silice. C'est à peine si, dans les cristaux blancs, limpides ou même translucides, on trouve un demi-centième de substances étrangères.

Les cristaux même transparents et translucides sont quelquefois colorés par des substances accidentelles, l'améthyste par le manganèse, le quartz jaune par le fer, le quartz enfumé par le carbone.

Le quartz se trouve aussi en cristaux opaques. En général, cette opacité résulte de ce que la silice a entraîné dans le mouvement de sa cristallisation des substances qui s'y trouvent mélangées mécaniquement; c'est ainsi que le quartz rouge ou jaune opaque, a entraîné des argiles ferrugineuses ou ocres rouges et jaunes.

Souvent, dans l'intérieur du quartz hyalin, on distingue des substances étrangères qui sont elles-mêmes à l'état cristallin comme des aiguilles de rutile, de la chlorite, etc.

Le quartz se trouve également à l'état lithoïde. Isolé ou mélangé, c'est un des éléments les plus essentiels des roches.

Les diverses variétés peuvent être rapportées aux types suivants :

Quartz cristallisé ou cristallin;
Quartzite ou quartz compacte;
Quartz-agate et jaspe;
Quartz-silex;
Quartz terreux.

A l'état cristallin, le quartz abonde dans les roches granitiques et dans les porphyres quartzifères.

On le trouve en plus grande abondance encore, dans les dépôts sédimentaires, où sa dureté exceptionnelle l'a conservé, malgré les actions destructives de l'érosion; il domine dans les grès, poudingues et brèches, dans les sables et cailloux roulés de toutes les formations géologiques.

Cette abondance du quartz dans les roches éruptives et sédimentaires concorde, d'ailleurs, avec le fait non moins remar-

quable du rôle qu'il joue dans les combinaisons minéralogiques. Les silicates sont à la fois des minéraux nombreux et très-répandus. Ainsi, les roches éruptives les moins riches en silice, comme les basaltes et les trapps, en contiennent encore plus de 50 pour 100.

Le caractère le plus saillant du quartz et des roches quartzeuses, est la dureté. Il fait feu avec l'acier et communique cette propriété à toutes les roches qui en contiennent une certaine proportion à l'état libre.

Ce degré de dureté n'appartient pas exclusivement au quartz : parmi les substances minérales abondantes, certaines roches feldspathiques sont presque aussi dures et font feu avec l'acier, mais il existe des différences que nous ferons ressortir en décrivant successivement les diverses variétés.

Quartz cristallisé. — La forme de prisme hexagonal bipyramidé, indiquée par la figure 89, se trouve dans les quartz cristallisés de toutes les provenances.

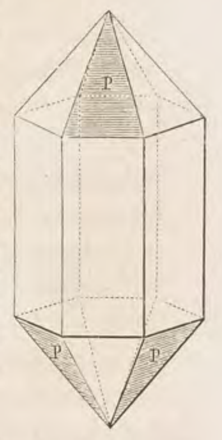


Fig. 89. — Quartz.

Les prismes du quartz sont nettement caractérisés, malgré les déformations auxquelles ils sont sujets par suite de l'inégal développement des faces. Deux angles sont, en effet, caractéristiques; l'angle des faces du prisme entre elles, qui est de 120°, puisque ce prisme est hexagonal régulier; et l'angle d'une face de la pyramide avec la face adjacente du prisme, qui est de 141° 40′.

Le prisme hexagonal régulier dérive du rhomboèdre, conformément à ce qui a été dit précédemment ; ce prisme étant formé par six plans parallèles à l'axe, tronquant les angles E. Les pyramides à six pans sont produites par trois plans sécants, menés de chaque sommet A, tronquant à la fois les angles E et les arêtes B. (Voir figure 25, page 57.)

Les pyramides du quartz prismé sont donc formées par trois faces primitives P et par trois faces dérivées. Cela est démontré directement par la tendance des trois faces primitives à se développer de manière à amoindrir et même à supprimer tout à fait les faces dérivées. Le rhomboèdre qui serait produit par le développement des faces primitives P (*fig*. 89), est de 94°.

La dérivation rhomboédrique du quartz est encore indiquée par l'existence de petites facettes qui coupent les angles quadruples formés par l'intersection de deux faces du prisme avec deux faces de la pyramide. Ces angles, au nombre de six pour chaque sommet, sont très-souvent modifiés de deux en deux, de sorte que les facettes qui en résultent sont au nombre de trois.

Lorsque ces troncatures coupent normalement les angles, les

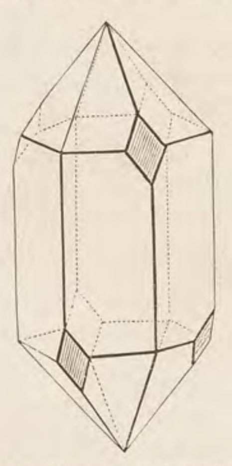


Fig. 90. — Quartz rhombifère.

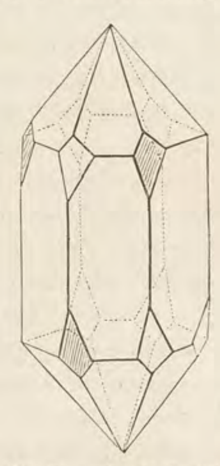


Fig. 91. — Quartz plagièdre.

facettes ont la forme de rhombes, et le quartz est dit *rhombifère* (*fig*. 90).

Lorsque les troncatures sont, au contraire, obliques, les facettes ont l'apparence de trapèzes à pans très-inégaux, et le quartz est désigné sous la dénomination de *plagièdre* (*fig*. 91). On distingue, dans ce cas, les faces plagièdres à gauche et les faces plagièdres à droite.

D'autres facettes tendent à se produire sur le quartz, elles ont été, ainsi que les précédentes, l'objet d'études intéressantes, mais elles sont à la fois rares et peu développées.

Lorsqu'on examine les cristaux de quartz dans les collections, ce qui frappe d'abord, ce sont les inégalités des faces et les déformations qui en résultent. La figure 92, dessinée d'a-

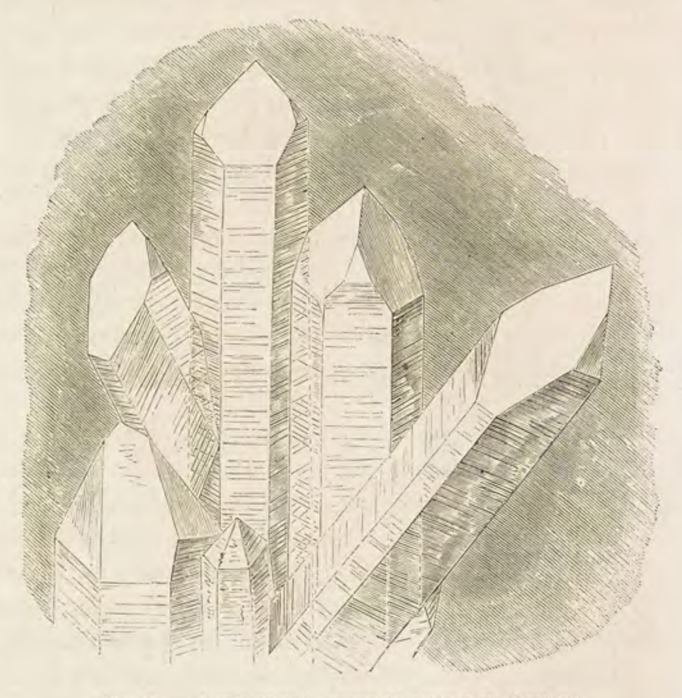


Fig. 92. — Quartz prismé, groupe de cristaux du Dauphiné.

près un groupe de quartz provenant des géodes ou fours à cristaux, qui se trouvent dans les Alpes du Dauphiné, donne une idée de ces irrégularités.

Les cristaux étant implantés, ne présentent qu'une seule des pyramides; le développement des faces de ces pyramides est très-inégal. Lorsque cette inégalité se produit par la dilatation des trois faces primitives, comme cela existe sur deux des

cristaux de ce groupe, la forme du rhomboèdre se dégage, et le quartz n'en est que mieux caractérisé. Mais souvent la dilatation porte seulement sur une face qui élimine presque les cinq autres, et les sommets se trouvent complétement déformés, sans que, d'ailleurs, les lois de la cristallographie cessent d'être rigoureuses.

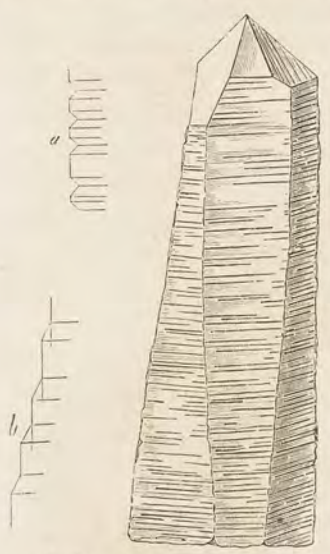
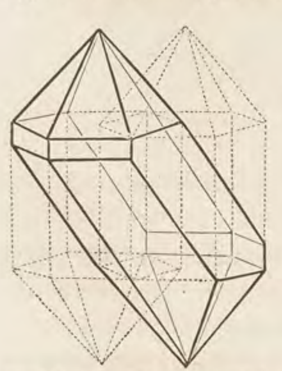


Fig. 93. — Quartz prismé strié.

L'inégalité des faces du prisme est un fait général, pour presque tous les cristaux. Plus ces faces paraissent inégales et déformées, plus elles portent des stries parallèles aux arêtes hexagonales des bases. Ces stries sont fortement indiquées sur tous les cristaux dont les pans sont inégaux.

Lorsqu'on les regarde à la loupe, on voit que les stries résultent de l'intersection de faces appartenant à la pyramide avec des faces du prisme, ainsi qu'il est indiqué figure 93. Les faces planes en apparence sont, en réalité, composées d'une série de reprises des faces du prisme interrompues par des faces de la pyramide. Au lieu de rester dans leur position normale les faces striées du quartz peuvent ainsi devenir obliques et conduire à des formes problématiques. Telle est la forme signalée par Haüy, sous la dénomination de *sphalloïde*, figure 94. Cette forme produite par un développement exagéré de deux des faces de chaque pyramide, s'explique par la réunion de deux prismes jux-


Fig. 94. — Quartz prismé sphalloïde.

taposés, raccordés par deux faces obliques et striées du prisme.

Le groupe cristallin représenté figure 95, d'après un échan-

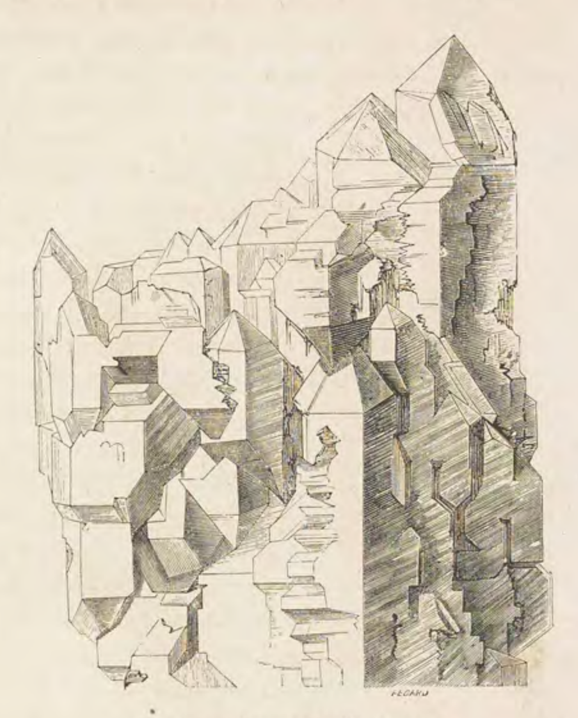


Fig. 95. — Groupe cristallin de quartz.

tillon du Dauphiné, nous a déjà servi à démontrer directement la construction souvent complexe des cristaux du quartz.

Ce groupe est principalement composé de deux faces appartenant au prisme, sur lesquelles on voit une multitude de facettes rentrantes appartenant aux faces des pyramides du dessous et du dessus.

Quant au sommet, il est formé par la juxtaposition d'une série de pointements, qui démontrent que ce fragment cristallin est, en réalité, composé d'un grand nombre de cristaux accolés et enchevêtrés.

Les cristaux complets en prismes bipyramidés, se sont dé-

veloppés souvent dans des roches calcaires ou argileuses d'où il est facile de les dégager. Ces cristaux sont en général de petites dimensions; ils ne dépassent guère $0^m,01$ à $0^m,02$ de longueur. Lorsqu'ils se sont développés dans les calcaires, ils sont ordinairement hyalins et très-purs.

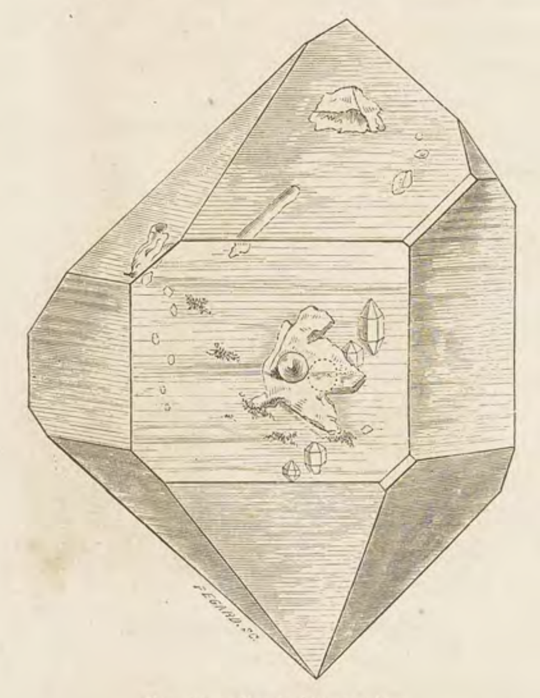


Fig. 96. — Quartz bipyramidé.

Nous avons déjà décrit le cristal goutte d'eau, représenté figure 96 avec un grossissement de quatre fois en diamètre; ce cristal est remarquable par des vides intérieurs, qui ont pris aussi la forme du quartz bipyramidé. Les liquides qui remplissent en totalité ou en partie les vides intérieurs du quartz, sont des liquides oléagineux, très-volatils, de telle sorte qu'en chauffant le quartz, on ne peut faire disparaître les bulles d'air intérieures qui s'y trouvent.

Lorsque les cristaux de quartz se trouvent dans des roches

argileuses, ils sont mélangés ordinairement de parties empruntées au milieu dans lequel ils se sont développés. On en trouve de blancs opaques, de rouges et jaunes (hyacinthes de Compostelle), par leur mélange avec des oxydes de fer, de noirs par le mélange du carbone.

Parmi les cristaux de quartz, il en existe dans lesquels le corps du prisme est tellement raccourci ou même supprimé, qu'ils représentent des *dodécaèdres bipyramidés* à triangles isocèles.

Ces formes se rencontrent très-souvent dans les groupes cristallisés des filons métallifères. La figure 97 représente un exemple de ces groupes, et indique les apparences diverses que peuvent offrir les cristaux.

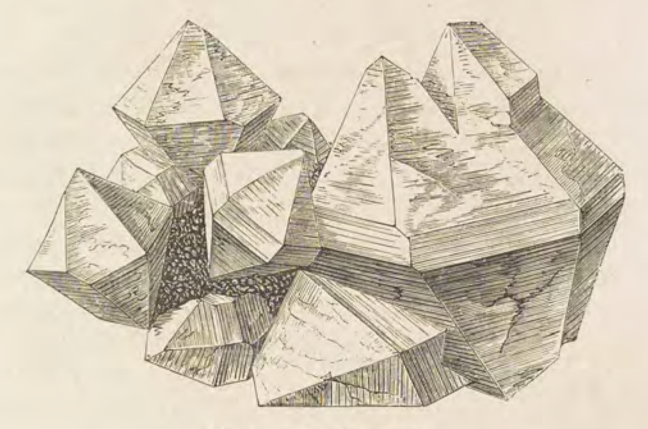


Fig. 97. — Quartz dodécaèdre.

Cet échantillon vient des mines de fer du Derbyshire, où le dodécaèdre bipyramidé est la forme constante du quartz cristallisé; il en est de même à l'île d'Elbe et dans certains filons du Cornwall; de sorte qu'il semble qu'un milieu surchargé d'oxyde de fer, a pu déterminer de préférence cette forme cristalline.

Parmi ces cristaux, on en remarquera qui n'ont que les faces du dodécaèdre, tandis que d'autres conservent encore les faces plus ou moins développées du prisme hexagonal.

Agates et jaspes. — Après l'état hyalin et cristallisé du quartz, vient l'état concrétionné qui admet un degré de pureté beaucoup moins grand et des colorations vives et variées. Cet état constitue les agates et les jaspes.

Il existe une seule différence entre l'agate et le jaspe. L'agate, lorsqu'elle est en éclats minces ou taillée en plaques, est toujours transparente ou translucide. Le jaspe moins pur, est fortement coloré et opaque, sans que, cependant, les proportions des matières colorantes dont il est surchargé, suffisent pour altérer la durée caractéristique du quartz.

Ces deux variétés sont des minéraux accidentels, susceptibles d'un beau poli et recherchées comme pierres d'ornement.

Les agates se trouvent en rognons ou nodules de petites dimensions. Brisés par le milieu, ces nodules présentent très-souvent des zones de diverses couleurs, formées par des concrétions successives; lorsque ces couleurs sont fortement tranchées, blanc, noir, rouge, elles forment ce que l'on appelle des *onyx*.

La *cornaline* d'un blanc laiteux, la *calcédoine* jaunâtre ou rougeâtre, la *chrysoprase* verte, sont des variétés d'agates employées, comme les onyx, dans la bijouterie et l'ornement.

Les nodules d'agate sont très-souvent creux à l'intérieur, et présentent alors des géodes, dont les parois sont tapissées par les pyramides saillantes du quartz, et quelquefois par d'autres substances à l'état de cristaux.

Les jaspes se trouvent sous la même forme que les agates, et dans les mêmes conditions de gisement; mais, par cela même qu'ils sont moins purs, on les rencontre aussi en masses plus considérables, surtout en dykes ou filons. Dans ces filons, s'entremêlent les jaspes proprement dits, opaques et fortement colorés en rouge, jaune, vert, avec des parties calcédonieuses ou agatisées, concrétionnées, géodiques, à éclats translucides; quelquefois avec des parties lithoïdes, d'un blanc laiteux ou d'un jaune inégal, qui se rattachent aux quartzites. Ces masses résument ainsi les principaux caractères minéralogiques de l'espèce.

Les plus belles variétés d'agates viennent de l'Inde; ce sont celles qui présentent la pâte la plus fine, la plus translucide,

quelquefois elles contiennent des dendrites ramuleuses, qui ressemblent à de petits végétaux empâtés, que l'on désigne sous la dénomination d'agates *herborisées.*

A Oberstein, en Bavière, il existe dans les roches trappéennes, métamorphiques, de nombreux nodules d'agate et de jaspe, qui sont recherchés, sciés, taillés et polis, et se retrouvent dans toutes les grandes villes, façonnés en plaques, en coupes, en cachets et grosse bijouterie.

Parmi les nombreuses variétés de jaspe, on recherche surtout, pour l'ornement, le jaspe rouge ou *sanguin;* le jaspe vert foncé, parsemé de rouge, dit *jaspe-héliotrope;* quelques jaspes *zonés* de rouge, jaune, vert, etc.

Ce sont principalement ces jaspes, avec les agates fortement colorées et quelques autres minéraux, qui sont employés dans la fabrication des mosaïques de Florence. Ces mosaïques formées par des incrustations noyées ou en relief, figurant des fleurs, des fruits et des motifs artistiques, se fabriquent aujourd'hui en France.

Quartzites. — On désigne ainsi les quartz compactes et opaques, qui se trouvent parmi les roches. Ces quartzites ont pour caractère général une texture serrée et homogène et leur dureté; ils sont de couleurs ordinairement claires, blanc laiteux, blanc jaunâtre ou grisâtre; leur structure est fragmentaire, grossièrement statifiée, avec des délits anguleux et irréguliers.

Le quartz cristallisé n'ayant pas de clivages, l'état cristallin ne peut être apprécié que par la cassure vitreuse et la transparence; du moment que la cassure est inégale, mate et opaque, quelle que soit d'ailleurs la pureté de l'échantillon, c'est un quartzite. Ainsi, dans les filons où se trouvent les quartz hyalins cristallisés, où les substances qui les accompagnent sont aussi à l'état cristallin, on trouve des quartzites, blancs, compactes, lithoïdes, et d'ailleurs presque aussi purs que s'ils étaient cristallisés. Il est rare que dans ces quartzites des filons, quelques parties vitreuses et translucides ne dénotent pas leur gisement et leur pureté.

Il existe dans les terrains schisteux métamorphiques, de nombreux filons et dykes composés de quartzite, dont les fortes saillies ont été souvent utilisées pour la construction des anciens châteaux. Ces quartzites, que l'on a considérés comme éruptifs, sont quelquefois rubannés de diverses couleurs, et passent à l'agate et au jaspe.

Les quartzites complétement lithoïdes, sans aucune partie vitreuse ou cristalline, sont en général stratifiés et moins purs. Leurs délits sont remplis par des argiles ocreuses. Ce sont des dépôts sédimentaires, qui, par exemple, ont couvert une partie de la Bretagne et de la Normandie, et sont considérés comme des grès métamorphiques.

Aux environs de Namur, on exploite, dans le terrain de transition, des bancs de quartzites et de quartz caverneux, qui sont employés à la fois comme *pierres réfractaires*, pour la construction des creusets des hauts fourneaux, et comme *pierres meulières*, pour les moulins à blé.

Les quartzites sont tellement durs à tailler et fissurés d'une manière si irrégulière, qu'ils ne sont exploités que dans des circonstances tout à fait exceptionnelles. On a exploité, par exemple, ceux de la montagne du Roule, près Cherbourg, pour en tirer les blocs qui ont servi à former la digue; la dureté de la roche et sa résistance à toute action de décomposition, expliquent cette préférence.

Silex. — Le silex compacte est l'expression la plus évidente du caractère spécial qui peut résulter de certaines modifications de texture. Il y a bien des substances compactes, et pas une, parmi celles qui sont abondantes, ne présente une texture aussi fine et aussi homogène que les silex blonds ou noirs, qui abondent dans la craie du bassin tertiaire parisien.

Tout le monde connaît les caractères du silex dit pierre à fusil ou pierre à briquet : sa cassure conchoïdale, qui résulte à la fois de la finesse et de la compacité de la pâte siliceuse ; les éclats minces, tranchants et translucides qu'on en détache sous le marteau; enfin le contraste de la fragilité d'un minéral que

l'on brise sans effort, et qui, lorsque le coup est oblique, détache cependant des parcelles de l'acier en les enflammant. Cette propriété de faire feu avec l'acier, plus facilement qu'aucune autre roche, avait déterminé autrefois de véritables exploitations des silex de la craie.

Lorsque le silex est à pâte moins fine, et coloré de manière à devenir tout à fait opaque, même dans les éclats les plus minces, il est à la fois moins pur et moins dur. Cette variété constitue les cailloux siliceux, gris ou jaunâtres, si abondants dans toutes les alluvions. Ces cailloux font feu avec l'acier, et sont souvent plus tenaces que le silex pur, mais sans avoir cependant le même degré de dureté.

Dans certains gîtes, le *silex* prend la structure caverneuse qui lui a fait donner aux environs de Paris le nom de *meulière.* Il est alors plus ou moins criblé de cellules, à parois irrégulières et déchiquetées; lorsqu'il a été taillé en meules, ces cellules à bords durs et tranchants coupent le blé au lieu de l'écraser, propriété qui est précisément la plus recherchée pour le choix des pierres meulières.

Au premier coup d'œil, la pierre meulière présente un aspect très-différent du silex; et cependant, si l'on examine avec la loupe la texture des parties pleines, on reconnaît le silex blond ou jaunâtre, un peu translucide sur les bords des éclats minces, avec son homogénéité et sa dureté caractéristiques. Cette identité est surtout frappante dans les meulières de bonne qualité, comme celles de la Ferté-sous-Jouarre et d'Épernon.

Les meulières communes des environs de Paris, qui sont employées dans la construction, sont d'un blanc mat et opaque, lorsqu'elles ne sont pas colorées en jaune ou en rougeâtre par les oxydes de fer, qui tapissent surtout les cellules. Ces variétés communes et non translucides peuvent être considérées comme des quartzites caverneux, plutôt que comme des silex.

Quartz terreux. — On peut donner ce nom à la silice terreuse ou pulvérulente que l'on rencontre comme substance accidentelle dans quelques terrains. Ainsi, les silex de la craie

sont souvent recouverts d'un enduit d'un blanc terreux, qui semble un précipité terreux, n'ayant plus rien de commun avec le quartz que sa composition; c'est de la silice pulvérulente plus ou moins agglutinée.

La silice pulvérulente se retrouve d'ailleurs sous forme de petites couches composées de poudre très-fine et incohérente.

Le quartz *nectique,* qui existe en concrétions noduleuses aux environs de Paris, n'est autre chose qu'un précipité de silice blanche pulvérulente, légèrement agrégé, dont le tissu est tellement lâche et la densité si faible, que les nodules et leurs fragments surnagent au-dessus de l'eau.

L'exemple le plus remarquable de silice à l'état terreux est celui des dépôts pulvérulents dits *Tripoli*, que l'on emploie pour nettoyer et polir les métaux à Bilding en Bohême, à Ebstorf dans le Hanovre, etc. L'épaisseur de ces dépôts terreux atteint 5 et 6 mètres. Ce sont des roches qui en se desséchant se réduisent en poudre fine blanche ou jaunâtre; l'examen microscopique de ces poudres siliceuses, a démontré qu'elles étaient formées, en grande partie, par les débris d'infusoires fossiles.

Quartz dans les roches éruptives et métamorphiques. — Le quartz à l'état cristallin, avec sa cassure vitreuse caractéristique, abonde d'abord dans certains granites. M. de Humboldt a même remarqué que plus les granites étaient anciens, plus ils étaient quartzeux; ils renferment jusqu'à 20 et 25 pour 100 de quartz libre, en petits grains, dont l'état cristallin est indiqué par la cassure, plutôt que par la forme extérieure, qui est en général arrondie. Certaines masses granitiques sont, par exception il est vrai, plus riches en quartz qu'en feldspath. Les granites quartzeux, dits *greisens* de l'Erzgebirge, sont même presque exclusivement composés de quartz et de mica; le feldspath ne s'y montre qu'accidentellement, soit en veines, soit en grains disséminés.

Dans les granites que l'on appelle à gros éléments, le quartz s'isole en fragments d'un et plusieurs décimètres cubes, quelquefois en véritables blocs. Les granites à gros éléments du

Limousin nous présentent ainsi le quartz en fragments tantôt vitreux et translucides, tantôt lithoïdes, et opaques.

A partir des granites, dans lesquels le quartz isolé est d'autant moins abondant que la roche est plus moderne, le quartz diminue de proportion dans les roches éruptives. Ainsi les porphyres dits quartzifères, qui contiennent en général à peine 5 à 7 pour 100 de quartz libre, disséminé en grains cristallins, soit en dodécaèdres bipyramidés, sont plus anciens que les porphyres feldspathiques qui n'en contiennent plus. Dans les autres roches plus modernes de la série éruptive, le quartz n'apparaît que comme substance tout à fait accidentelle.

Les véritables gisements du quartz sont dans les terrains métamorphiques et dans les dykes ou filons (que ces filons soient d'ailleurs stériles ou métallifères).

Dans les roches métamorphiques, les micaschistes, par exemple, le quartz disséminé dans la masse s'isole en amygdales ovoïdes, en blocs, en veines ramifiées. Il est souvent pur et vitreux.

Dans les schistes argileux, le quartz imprègne certaines couches. Les *pierres lydiennes* ne sont autre chose que des quartz schisteux, colorés, rendus opaques par une certaine proportion d'argile. Les quartz noirs, dits lydiens, sont employés comme pierres de touche.

Certaines masses quartzeuses sont des dykes qui semblent sortir des profondeurs du sol et se rattacher aux phénomènes de réaction de l'intérieur vers la surface du globe. Ce sont tantôt des veines ou filons qui tendent à former des arêtes saillantes en vertu de leur dureté; d'autres fois, ce sont de véritables masses déchaussées par l'érosion et dont la base se ramifie par des veines et filons. Les montagnes si connues de Saint-Priest et de Roche-Taillée, aux environs de Saint-Etienne, sont des exemples de ces dykes que l'on rencontre souvent dans les pays accidentés.

Dans les filons proprement dits, c'est-à-dire dans les cassures du sol remplies postérieurement à leur formation, le quartz est l'élément le plus abondant. Il est tantôt compacte, tantôt cristallin. Ce sont les filons qui contiennent les druses et les

géodes de quartz hyalin prismé, qui abondent dans les collections. C'est là que l'on cherche le cristal de roche employé comme pierre d'ornement.

Pour trouver ces quartz hyalins, il n'est pas toujours besoin d'exploiter directement les filons. Dans les régions montagneuses, lorsque l'action érosive des eaux ou des glaciers, s'est exercée sur des terrains parcourus par des filons de quartz cristallin, on distingue dans le lit des torrents et dans les moraines, des blocs qui renferment les géodes et les cristaux.

Quartz dans les roches sédimentaires. — Les roches de sédiment, formées par précipitation chimique, contiennent quelquefois du quartz. Les silex et les quartz concrétionnés abondent dans certains dépôts calcaires ou argileux. Enfin beaucoup de roches sont pénétrées par un ciment siliceux dont le mélange intime peut en général être apprécié par l'augmentation de la dureté.

Les eaux sédimentaires des anciennes formations géologiques ont donc pu dissoudre et abandonner la silice, tandis qu'aujourd'hui, c'est à peine si nous voyons quelques sources minérales avoir encore l'apparence de cette propriété.

Les précipitations siliceuses, sont aussi l'origine probable des nodules et veines de quartz compacte ou vitreux, qui se trouvent dans beaucoup de terrains schisteux.

Certains terrains secondaires contiennent en abondance des concrétions siliceuses, notamment les *chailles* disséminées dans les terrains jurassiques.

Les silex de la craie présentent un des exemples les plus frappants de ces concentrations des matières siliceuses abandonnées par les eaux. Ces nodules ou rognons de silex sont disposés suivant les plans de stratification, tantôt clair-semés, tantôt tellement rapprochés qu'ils se soudent ensemble, et forment de petites couches de silex, à surfaces noduleuses.

Les calcaires siliceux du bassin tertiaire parisien, sont une expression différente du même phénomène. Le quartz pénètre les calcaires et forme des roches mixtes, dans lesquelles la silice s'isole même en veines et concrétions. Sur certains

points du dépôt, le quartz exclut les éléments calcaires et s'isole en dépôts de silex compacte et caverneux, dont les gisements classiques aux environs de la Ferté-sous-Jouarre, à la Ferté-Bernard et à Epernon, sont exploités comme *pierres meulières*, pour la construction, et surtout pour la fabrication des meules. Les concrétions de silex caverneux abondent également dans les sables et grès marins, qui couvrent une grande partie des plateaux aux environs de Paris.

Quartz dans les roches d'agrégation. — Le quartz étant la substance la plus dure, parmi celles qui entrent dans la composition des terrains ignés et sédimentaires, il est naturel de le retrouver comme élément principal dans les roches d'agrégation, c'est-à-dire dans celles qui ont été formées par les actions d'érosion et de transport. Dans presque toutes les roches à l'état de sables ou de cailloux roulés, agrégées en grès, brèches ou poudingues, soit à l'état incohérent, le quartz domine, quelquefois à tel point, que la roche est non-seulement quartzeuse, mais un véritable quartz.

Ainsi, dans les terrains de transition, les *grauvackes* composées de fragments des terrains schisteux préexistants, contiennent, en général, d'autant plus de quartz que les éléments sont plus fins et ont été transportés de plus loin. Certains grès sont exclusivement composés de grains et de cailloux de quartz ; ce sont ces grès fins, transformés par les actions métamorphiques, qui constituent les *quartzites* compactes, cités précédemment dans les terrains anciens de la Bretagne et de la Normandie.

Dans les terrains houillers, les grès, roches dominantes, sont formés de grains et de cailloux agrégés, de quartz et de feldspath avec des paillettes de mica ; ce sont les éléments des granites remaniés par les eaux, dans lesquels le quartz domine et forme, en général, 50 à 90 pour 100 de la masse.

Les grès rouges et les grès des Vosges contiennent principalement des grains et des cailloux roulés de quartz, agrégés par un ciment ferrugineux qui les colore en rouge. Il en est de même des grès bigarrés dont les bancs exploités pour les con-

structions, dans tout l'est de la France, doivent au quartz leur solidité et leur inaltérabilité.

Les grès du lias (*quadersandstein*), fournissent des pavés quartzeux très-résistants.

On retrouve le quartz en abondance dans les sables et cailloux roulés, incohérents ou agrégés, qui existent à plusieurs étages des terrains jurassiques et crétacés.

Les terrains tertiaires et alluviens, nous présentent encore des exemples nombreux de ce dégagement et de cet isolément du quartz, dans les roches de transport, incohérentes ou agrégées, et notamment aux environs de Paris, dans la formation tertiaire dite des sables et grès supérieurs. Ces sables exploités sur presque tous les plateaux du bassin parisien, sont principalement composés de grains de quartz, souvent mélangés et colorés en jaune par un peu d'argile ferrugineuse et de paillettes de mica. A Fontainebleau, les grains de quartz s'isolent en sables blancs et purs, qui semblent plutôt formés par une précipitation chimique, qu'isolés par érosion et transport. Ces sables peuvent être considérés comme une variété de quartz à l'état pulvérulent. Souvent ils sont agglutinés en bancs, soit en masses concrétionnées, par un ciment siliceux, et donnent lieu sous cette forme, à des exploitations et des fabrications de pavés. Les sables eux-mêmes sont exploités pour tous les usages qui exigent la silice la plus pure, notamment pour les verreries.

Enfin, dans les roches alluviales de l'époque actuelle, lorsqu'on examine les actions des eaux, on s'explique cet isolement du quartz par l'érosion et par les frottements du transport. Ainsi, par exemple, sur les points où les eaux de la mer battent incessamment les falaises calcaires et argileuses des côtes de la France et de l'Angleterre, les calcaires et les argiles sont facilement broyés, délayés et entraînés au large, où ils vont se déposer dans les profondeurs de la mer; mais les silex et les concrétions siliceuses que ces roches renferment en abondance, résistent à l'érosion, et constamment roulés sur le fond, forment le galet caractéristique d'un si grand nombre de plages. Ces galets, broyés eux-mêmes par les mouvements des eaux, forment

les sables fins qui se déposent au fond des anses, où la mer est moins agitée.

Quartz opales et résinites.

Cette espèce minérale ne cristallise pas et se présente sous des apparences assez variées, auxquelles on a donné les noms d'*opale*, d'*hyalite* et de *quartz résinite*.

L'**opale** est l'état du quartz hydraté, qui présente la plus grande pureté et qui exprime le plus nettement les caractères de l'espèce, qui sont :

Couleurs.—Blanc laiteux, translucide, accidentellement avec des reflets irisés ou *feux* rouges et verts. L'opale du Mexique est jaune ou rougeâtre, un peu louche, avec reflets jaune doré.

Densité. — 2, 11.

Dureté. — Rayé par le quartz et par l'acier. Point de *clivages*; très-fragile; la *cassure* est conchoïdale et vitreuse.

Sous le rapport de la composition, les opales contiennent de 6 à 8 pour 100 d'eau.

La variété dite *hyalite*, qui se trouve en concrétions transparentes sur certaines roches basaltiques de la Bohême et du Kaiserstuhl, contient seulement 3 pour 100 d'eau.

Les *opales* dites *nobles*, à reflets irisés, viennent exclusivement de Hongrie. Elles sont d'un prix très-élevé lorsqu'elles ont des feux vifs et de belles couleurs ; c'est la seule pierre précieuse que l'on puisse considérer comme inimitable.

L'opale d'un blanc laiteux ou jaune translucide, se trouve en rognons assez volumineux, mais elle est sans application. Parmi ces opales, on trouve quelques variétés, opaques lorsqu'elles sont sèches, mais qui, plongées dans l'eau, deviennent transparentes. On distingue ces variétés sous le nom d'*Hydrophanes*.

Les silex résinites ne sont autre chose que des opales mélangées d'autres substances. Il y a des quartz résinites bruns, rou-

geâtres, jaunes ou verts, translucides ou opaques, colorés par les oxydes ou par le silicate de fer.

Les silex dits *ménilites*, que l'on trouve en rognons et concrétions dans les marnes du gypse, aux environs de Paris, notamment à Ménilmontant, sont des quartz résinites tout à fait opaques, mélangés d'un peu d'argile et d'oxyde de fer.

Tous ces quartz résinites sont un peu moins fragiles et un peu plus denses que l'opale ; leur densité s'élève à 2,35. Cependant ils sont encore plus hydratés; la proportion d'eau s'y élève à 9 et 10 pour 100.

Le quartz hydraté à l'état terreux, constitue les variétés que l'on appelle *geysérites*, *quartz thermogène*, etc.

Les sources thermales et jaillissantes dites geysers de l'Islande, ont déposé autour de leurs orifices d'éruption, des cônes de concrétions siliceuses qui ont plusieurs mètres de hauteur. Comme ce phénomène paraît être fort ancien, le sol de la contrée traversée par les geysers, est formé par de véritables dépôts siliceux. Ces concrétions siliceuses, que l'on a appelées geysérites, sont d'un blanc jaunâtre, et présentent l'aspect de travertins. C'est du quartz hydraté, opaque, concrétionné, qui contient quelquefois des plantes fossiles complétement silicifiées, et nous donne idée de l'origine de beaucoup de concrétions siliceuses, que l'on rencontre dans les terrains sédimentaires et métamorphiques.

Plusieures sources thermales, notamment au Mont-Dore, en Auvergne, ont déposé des concrétions siliceuses jaunes ou verdâtres, tout à fait analogues à la geysérite. Lorsque ces dépôts sont nouveaux, ils sont mous, gélatineux, et contiennent 20 pour 100 d'eau. En séchant à l'air, ils se contractent, se gercent, perdent une partie de leur eau, et prennent l'aspect résineux.

M. Beudant, en étudiant le gisement des opales en Hongrie dans les roches trachytiques dont elles tapissent accidentellement les fissures, a trouvé de même l'opale sous forme de pâte gélatineuse, blanche et molle, qui perd 10 à 12 pour 100 d'eau en se desséchant. Toutes ces variétés de quartz plus ou moins hydraté, seraient donc les dépôts de sources thermales.

CHAUX CARBONATÉE.

Spath calcaire. CaC^2.

Couleurs. — Blanc et limpide, lorsqu'elle est pure et cristalline. Se colore facilement en blanc jaunâtre ou rosé, en gris clair ou gris bleuâtre.

Densité. — 2, 7.

Dureté.— Rayé par le spath fluor; raye le gypse; est facilement rayée par l'acier.

Clivages. — Trois clivages faciles et égaux, conduisant à un rhomboèdre de 105 degrés.

Formes cristallines. — Rhomboèdres, primitif, inverse, équiaxe, aigus et obtus. Dodécaèdres métastatiques. Prismes hexagonaux réguliers.

Réfraction. — *Double* très-prononcée, facile à constater à travers deux faces parallèles du rhomboèdre de clivage.

Soluble dans les acides, avec effervescence.

A une chaleur rouge soutenue, se décompose et passe à l'état de chaux caustique.

Les analyses faites sur la chaux carbonatée cristallisée, ont donné des résultats très-divers, parce que les bases isomorphes, magnésie, protoxydes de fer et de manganèse, peuvent se substituer à la chaux dans des proportions variables. Le spath d'Islande, le plus pur et le plus limpide, a donné :

		OXYGÈNE.	RAPPORT.
Chaux....................	56,15	15,77	1
Protoxyde de manganèse...	0,15	0,03	
Acide carbonique.........	43,70	31,61	2

d'où la formule CaC^2.

Les variétés terreuses ou compactes présentent souvent une pureté comparable. Ainsi on trouvera de la craie ou des cal-

caires dits liais ou lithographiques qui ne contiennent pas 2 pour 100 d'argile ou d'oxyde de fer.

Les variétés cristallines tendent à se mélanger de carbonates isomorphes. M. Dufrénoy cite l'analyse suivante d'une chaux carbonatée spathique des environs de Moutiers en Tarantaise, comme précisant bien ces tendances.

		OXYGÈNE.	
Chaux..................	35,58	10,07	15,48
Magnésie...............	5,51	2,07	
Protoxyde de fer........	10,74	2,44	
Protoxyde de manganèse.	4,01	0,90	
Acide carbonique	42,76		30,92
Argile..................	1,40		

On voit que malgré la substitution des bases, le rapport de l'oxygène des bases et de l'acide reste toujours constant.

La chaux carbonatée compacte ou terreuse, forme les roches puissantes et des plus étendues, que l'on appelle *calcaires*. Si l'on examine la carte géologique du globe terrestre, on voit qu'une assez grande partie des surfaces continentales, plus d'un dixième, est couverte de formations calcaires. Nous disons couverte, car ces roches de chaux carbonatée sont seulement superficielles, et ce que nous savons de la composition de l'écorce terrestre ne nous permet pas d'admettre qu'elles puissent figurer parmi les éléments constituants à de grandes profondeurs. Cependant, comme les roches superficielles sont celles qui nous intéressent le plus, la pensée que la chaux carbonatée ne descend pas à de grandes profondeurs, n'ôte rien de l'intérêt que présente cette substance si abondante à la surface.

Les surfaces calcaires sont constamment lavées et attaquées par les eaux atmosphériques et courantes, ainsi que par les eaux de la mer; les acides que contiennent ces eaux, leur donnent la faculté de dissoudre une certaine proportion de chaux carbonatée; proportion minime lorsqu'on l'exprime en chiffres, mais considérable par la masse des eaux. Ces eaux, chargées de sels à base de chaux, sont entraînées par les grands courants de la mer dans les ré-

gions tropicales de l'océan Atlantique et de l'océan Pacifique; là, sous l'influence du climat, toutes les fois que les profondeurs ne sont pas considérables, des mollusques s'emparent des sels de chaux, les transforment en madrépores, en bancs de coraux, et montent leurs concrétions du fond jusqu'à la surface. Ce travail incessant a déjà produit des masses immenses de concrétions madréporiques calcaires : des îles en sont formées, des continents en sont entourés sur des épaisseurs de 50 mètres et plus; de telle sorte que nous voyons se déposer des bancs calcaires, d'une étendue et d'une épaisseur considérable.

Des faits analogues se produisent même dans les mers les plus profondes. Lorsqu'on s'est occupé de sonder ces mers pour l'établissement du câble électrique entre l'Europe et la côte de Terre-Neuve, et de cette côte à celle de l'Amérique, on a reconnu qu'en s'éloignant des côtes, les fonds étaient recouverts, même à des profondeurs de 3 000 et 4 000 mètres, d'une vase grisâtre, jaunâtre ou verdâtre, visqueuse et composée d'éléments microscopiques. L'analyse a démontré que la majeure partie de ces éléments était calcaire et formée des squelettes et des débris de foraminifères infusoires.

Ainsi les faits signalés, comme ayant contribué à la formation des puissants dépôts de la craie, se poursuivent aujourd'hui; les polypiers agissent à la fois sur les hauts-fonds madréporiques et sur le fond des mers les plus profondes, de manière à y former des dépôts calcaires.

La **chaux carbonatée, cristallisée, spathique,** se rencontre principalement dans les filons et dans les calcaires métamorphiques. Ses cristaux nombreux et de formes complexes, sont tous dérivés du rhomboèdre de 105 degrés, indiqué par les trois clivages.

Ce rhomboèdre est donc le type primitif d'où dérivent : 1° une série de *rhomboèdres;* 2° une série de *prismes hexagonaux;* 3° une série de *dodécaèdres métastatiques* ou *scalénoèdres.*

Les rhomboèdres sont les formes les plus fréquentes; on en a compté seize. Parmi ces divers rhomboèdres, il y en a trois qui

dominent et présentent un intérêt spécial; ce sont : le *primitif*, l'*inverse* et l'*équiaxe*, dont la dérivation précédemment indiquée est démontrée par la figure 98.

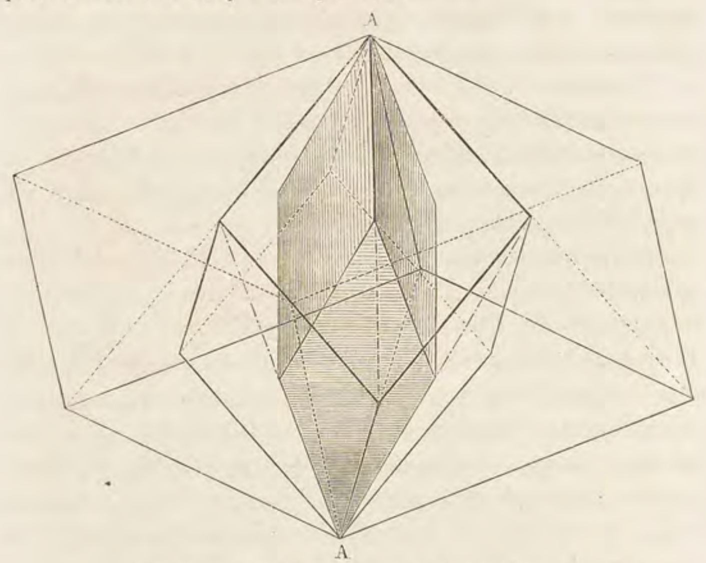


Fig. 98. — Rhomboèdres primitif, équiaxe et inverse.

La chaux carbonatée, cristallisée en rhomboèdres primitifs,

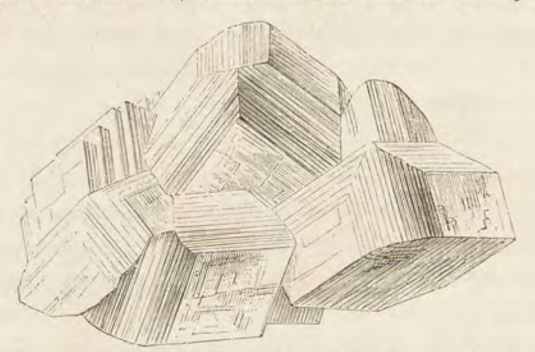


Fig. 99.— Chaux carbonatée, rhomboèdre primitif, passant à l'équiaxe.

est assez rare; cette forme concorde presque toujours avec un mélange notable des carbonates isomorphes de magnésie, de fer et de manganèse.

Dans les gîtes où l'on rencontre des rhomboèdres primitifs, les angles sont ordinairement oblitérés par des stries et des facettes conduisant à l'équiaxe, ainsi qu'il est indiqué par la figure 99.

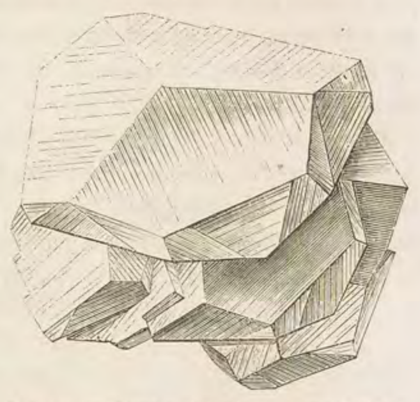


Fig. 100. — Chaux carbonatée, sommets équiaxes.

Le rhomboèdre équiaxe est au contraire une forme très-répandue. Le plus souvent, cette forme se trouve combinée avec des facettes qui se rapportent au prisme hexagonal, soit à des métastatiques ; elle détermine des sommets trièdres obtus qui font donner à ces cristaux la dénomination de *têtes de clous* (*fig.* 100).

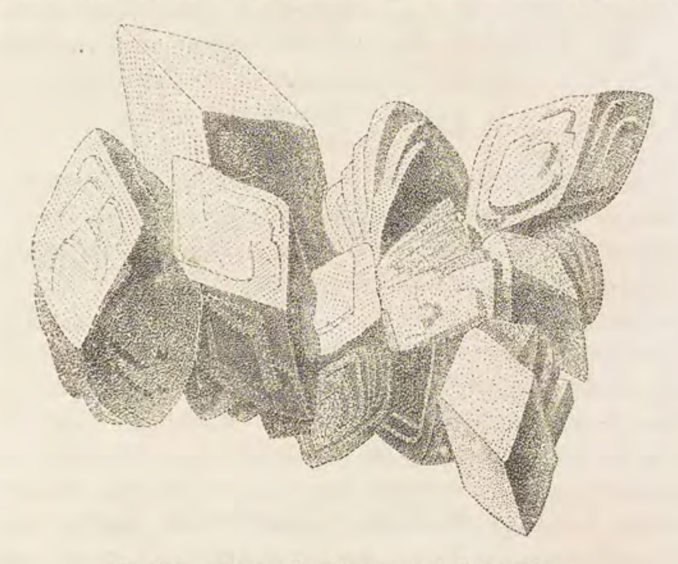


Fig. 101 — Chaux carbonatée, inverse, de Fontainebleau.

Le rhomboèdre inverse, est moins fréquent que l'équiaxe ; on

en trouve cependant de belles géodes dans les calcaires de Couzon, exploités pour les constructions de Lyon; dans les filons du Hartz, etc. Cette forme du rhomboèdre inverse, est celle des cristaux qui se sont développés dans les sables quartzeux de Fontainebleau, et qui sont connus sous la dénomination de grès cristallisé (*fig.* 101).

Parmi les autres rhomboèdres, il en est qui se remarquent, parce qu'ils se rapprochent du cube; d'autres sont au contraire très-aigus, et forment des pointes, tantôt très-fines, tantôt émoussées par les faces d'un autre rhomboèdre.

Les cristaux de spath calcaire, connus sous le nom de *spath d'Islande*, sont recueillis dans une argile compacte. Leur forme dominante est le rhomboèdre primitif, modifié par des biseaux sur toutes ses arêtes (*fig.* 102). Cette forme intéressante, dans laquelle le rhomboèdre semble modifié comme prisme oblique rapporté à trois axes égaux, se retrouve parmi les cristaux du Dauphiné.



Fig. 102. — Spath d'Islande.

Les prismes hexagonaux abondent dans les géodes cristallines que fournissent les filons du Hartz (Andreasberg), du Derbyshire, etc.... Les faces de l'équiaxe qui surmontent souvent ces prismes permettent de distinguer ceux qui dérivent de troncatures sur les six arêtes en zigzag du rhomboèdre primitif, de ceux qui dérivent de troncatures sur les six angles. Dans les premiers, qui sont les plus répandus, l'intersection des faces du sommet avec celle des faces du prisme, se fait suivant les arêtes en zigzag du rhomboèdre (*fig.* 103); dans les prismes placés sur les angles, les arêtes en zigzag sont coupées de telle sorte, que les faces des sommets sont pentagonales. La disposition est inverse pour chaque sommet, le même pan de prisme portant une arête simple à l'un des sommets, et double au sommet opposé (*fig.* 104).

Lorsque le prisme est basé, c'est-à-dire terminé par une troncature hexagonale perpendiculaire à l'axe, ce sont les clivages

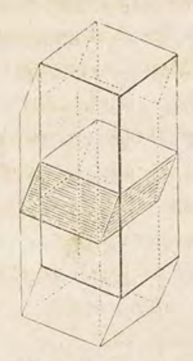


Fig. 103. — Prisme hexagonal sur les arêtes.

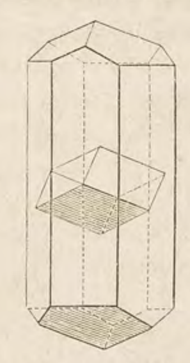


Fig. 104. — Prisme hexagonal sur les angles.

qui peuvent seuls indiquer la position du noyau primitif, par rapport aux faces du prisme, position indiquée fig. 103 et 104.

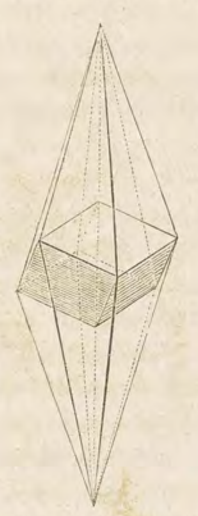


Fig. 105. — Chaux carbonatée métastatique.

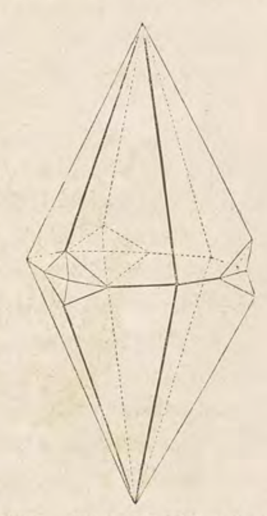


Fig. 106. — Chaux carbonatée métastatique hémitrope.

Les métastatiques, ou scalénoèdres, forment une série de cristaux nombreuse et complexe. Quelquefois ils sont simples et

se rapprochent du type (*fig.* 105); plus souvent ils sont hémitropes, et présentent des angles rentrants, indiqués (*fig.* 106).

Les faces du scalénoèdre peuvent se combiner avec celles des prismes hexagonaux et des rhomboèdres, de manière à former des cristaux mixtes ; la figure 107 représente l'exemple le plus répandu. Ce cristal porte les faces du rhomboèdre primitif P, celles du biseau conduisant au scalénoèdre d^2, et les faces du prisme hexagonal régulier sur les angles e^2.

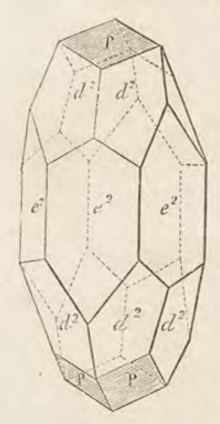
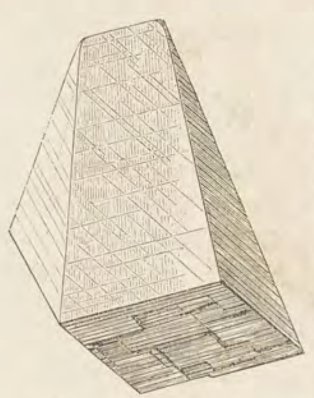


Fig. 107.

Dans les cristaux métastatiques naturels, on ne voit le plus souvent que la moitié des faces. La figure 108 dessinée d'après un cristal de Grès-en-Boire, dans la Mayenne, indique la dilatation fréquente de deux faces opposées de manière à déterminer au sommet une arête plus ou moins longue; la partie inférieure du cristal est clivée.

La figure 109 est encore un demi-cristal métastatique ; le sommet est oblitéré par six facettes, et les angles latéraux portent également des modifications.


Fig. 108. – Chaux carbonatée métastatique.

Ces déformations de cristaux par le développement inégal des faces, soit par les convexités que déterminent des facettes qui se coupent sous des angles très-obtus, sont fréquentes parmi les cristaux de chaux carbonatée. Sur les faces principales de ces cristaux, on distingue, en général, des glaces et des stries plus ou moins accusées, marquant le sens des clivages qui conduisent au rhomboèdre de 105 degrés. Ce caractère n'a pas seulement l'avantage de faire reconnaître la substance, il indique aussi la dérivation des cristaux et les

constructions moléculaires qui donnent à la chaux carbonatée un intérêt tout particulier. Cette substance est en effet la plus

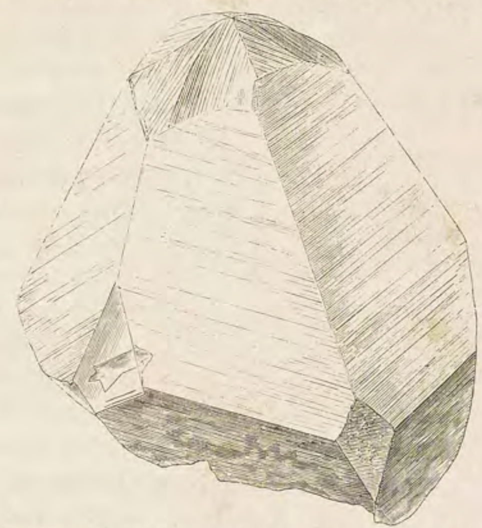


Fig. 109. — Chaux carbonatée métastatique ; sommets modifiés.

intéressante de toutes les espèces minérales lithoïdes, par la multiplicité et la variété de ses cristaux, et par les problèmes de dérivation qui résultent de ces formes nombreuses.

La chaux carbonatée se présente à l'état de roches, et constitue les variétés suivantes :

Chaux carbonatée...	lamelleuse.
	saccharoïde ou marbre.
	compacte.
	oolitique.
	terreuse.

La chaux carbonatée, *lamelleuse* ou *spathique,* est celle qui est à l'état cristallin, et qui présente par conséquent les trois clivages et la dureté caractéristiques.

Ces variétés spathiques se reconnaissent donc au premier coup de marteau. On les trouve surtout dans les terrains métamorphiques et dans les filons, où ils servent souvent de gangues aux minerais.

L'état cristallin n'est pas un signe absolu de pureté; ainsi que nous l'avons expliqué précédemment, on trouve, mêlés au carbonate de chaux, les carbonates isomorphes de magnésie, de fer et de manganèse; d'autres fois, ce sont des substances dont le mélange est purement mécanique.

La chaux carbonatée spathique des filons, lors même qu'elle est un peu magnésifère, est blanche, opaque ou translucide; le carbonate de manganèse la colore en rose, et le carbonate de fer en jaune ou en brun. Cette dernière variété est la plus répandue; on la connaît sous la dénomination de *spath brun ou brunissant*.

Parmi les variétés dont la coloration est due à un mélange mécanique, nous citerons les spaths gris et noirs, mélangés de carbone; d'autres verdâtres, mélangés d'argile ou de quelques autres silicates.

La **Chaux carbonatée saccharoïde**, ou *marbre*, est bien plus répandue que la variété spathique; cet état semi-cristallin est comparable à celui du sucre, qui offre, en effet, une grande similitude de cassure avec celle du marbre blanc.

Le marbre, lorsqu'il est pur, c'est-à-dire qu'il contient seulement 1 à 2 pour 100 de substances étrangères, est blanc et susceptible d'un beau poli. Il est facile à tailler à la pointerolle et au ciseau, puisqu'il est moins dur que l'acier, et ne devient scintillant que lorsqu'il contient des particules siliceuses. Les variétés blanches, à grains fins, tenaces et sans fissures, telles qu'on les trouve en bancs puissants, à Carrare et dans quelques autres localités, constituent les marbres statuaires dont on fait toutes sortes d'ornements taillés ou polis.

Il y a des passages insensibles de la variété lamelleuse au marbre statuaire à grains fins; il y a donc une série de marbres de toute grosseur de grains. Les plus recherchés sont ceux qui sont à grains serrés, tenaces et de structure massive. Dans les variétés à gros grains, les clivages sont sensibles et tendent par conséquent à diminuer la ténacité, ainsi que la facilité de la taille et du poli.

Les plus beaux marbres statuaires sont ceux de Carrare, situés près des côtes de l'Italie, vers la base du mont Altissimo. Les marbres blancs des Pyrénées n'ont pas les mêmes qualités, qui ne paraissent se retrouver que dans les marbres du cap Filfilla, en Algérie, où il existe des carrières importantes qui ont fourni beaucoup de marbres pour la construction des anciens monuments de Rome.

Les carrières de Carrare, qui exportent environ 30 000 tonnes de marbres par année, règlent le prix des marbres blancs qui s'y divisent en trois classes. La première classe, véritable marbre statuaire, se paye 1 200 francs le mètre cube ; la deuxième classe souvent tachée, d'un grain moins homogène et moins serré, et par conséquent moins résistante à l'air, vaut, suivant le grain, de 600 à 300 francs le mètre cube; la troisième classe, bonne à débiter en plaques, ne vaut que de 300 à 200 francs.

En tête des marbres les plus purs et les plus beaux doivent se placer les marbres d'Algérie, dits *marbres onyx* ou *albâtres calcaires*. Ces marbres, à la fois cristallins et concrétionnés, sont translucides et en même temps plus durs et plus denses que les variétés saccharoïdes. Leur grain fin et serré reçoit le plus beau poli.

Les marbres onyx blanc laiteux, translucides, sont les plus purs; ils prennent quelquefois des couleurs verdâtres, plus souvent jaunâtres, par leur mélange avec le carbonate de fer; ces mélanges, par concrétions rubannées et ondulées, produisent de très-beaux effets. Certaines variétés, parmi les plus blanches et les plus translucides, deviennent lamelleuses et présentent les facettes des clivages rhomboédriques.

Les marbres onyx, suivant leur grain et suivant les chances de beauté que présentent les blocs, sont évalués de 2 000 à 4 000 francs le mètre cube.

La plupart des marbres paraissent n'être autre chose que la transformation cristalline de dépôts calcaires soumis aux actions métamorphiques; d'où résultent des colorations très-diverses, suivant la composition de ces bancs calcaires, et suivant la nature des substances mélangées à la chaux carbonatée.

Les marbres gris et noirs, colorés par le carbone, sont exploités sur une grande échelle parmi les calcaires carbonifères de Belgique.

Les marbres jaunes, colorés par l'hydroxyde de fer, également très-communs, sont exploités dans le bas Boulonnais.

Les marbres rouges, dits *griottes*, colorés par le peroxyde de fer anhydre, existent dans les Pyrénées et dans beaucoup d'autres régions montagneuses, notamment parmi les calcaires accidentés et cristallins des environs de Gênes.

Dans beaucoup de ces marbres, on trouve des débris fossiles, polypiers ou coquilles, qui attestent leur origine sédimentaire, tandis que leur situation géologique dans le voisinage des roches ignées et des centres de perturbations géologiques, explique la transformation qu'ils ont subie.

Un fait assez général est venu compliquer la coloration des marbres. Les bancs calcaires soumis à des mouvements ont été fendus, et les fentes remplies par des infiltrations de chaux carbonatée d'une couleur, en général, plus claire que les fragments qu'ils sont venus souder. C'est ainsi que beaucoup de marbres noirs, jaunes, rouges, sont veinés de blanc. Le marbre *portor*, exploité près de Gênes, et l'une des variétés les plus recherchées, contient des veines d'un beau jaune, parcourant et soudant ensemble des marbres gris et noirs.

Les marbres, que l'on appelle brèches, présentent une multitude de fragments anguleux, soudés par un ciment calcaire. Ceux de Sarrancolin sont très-recherchés.

Les Pyrénées contiennent des bancs calcaires qui ont été traversés par des serpentines, et les contacts des deux roches offrent des mélanges fragmentaires, entrelacés et quelquefois intimes, de serpentines vertes ou rouges, avec des calcaires blancs, qui se colorent eux-mêmes en verdâtre et en rougeâtre. Ces marbres serpentineux se voient à chaque pas dans Paris.

Les marbres les plus estimés sont non-seulement les plus riches en couleur, mais aussi ceux qui résistent le mieux aux agents atmosphériques et conservent longtemps leur poli. Les principaux marbres exploités en France sont : d'après un travail de M. Delesse,

		PRIX DU MÈTRE CUBE SUR CARRIÈRES.
Pyrénées	Griotte de Félines-d'Hautpoul	400
	Griotte œil-de-perdrix de Cannes	500
	Griotte panachée de Cannes	300
	Griotte rouge français de Villartel	600
	Nankin coquillier de Mentions	200
	Brèche de Cierp	200
	Lumachelle de Lourdes	200
	Griotte des Hautes-Pyrénées	250
	Campan vert clair	275
	Campan rouge	300
	Campan mélangé	300
	Campan vert foncé	325
	Sarrancolin	350
	Sainte-Anne des Pyrénées	275
Vosges	Framont	225
	Mirecourt acajou	250
	Brèche Framont	275
Jura	Brocatelle jaune de Molinges	260
	Jaune fleuri de Pratz	300
	Granites de Saint-Amour	225
Pas-de-Calais et Nord.	Stinkal	150
	Stinkal doré	175
	Divers gris	150 à 200
	Sainte-Anne français	150
	Sainte-Anne Hergies	125
Mayenne	Sarrancolin de l'ouest	250
	Rose de Bauëre	225
	Gris de Bauëre	200

Malgré ses richesses considérables en marbres, la France importe encore de l'étranger de 4 à 5 000 mètres cubes, dont environ un tiers d'Italie en marbres statuaires, blanc veiné, portor, bleu turquin, jaune Sainte-Anne et rouge griotte ; le reste en marbres communs gris et noirs de Belgique.

Calcaire compacte. — La texture compacte exclut toute structure cristalline, quelle que soit la pureté de la substance.

Un calcaire compacte, peut être plus pur qu'un calcaire cristallin ou même cristallisé, mais les substances mélangées ne sont plus les mêmes; ainsi, tandis qu'une chaux carbonatée spathique se mélange dans une grande proportion de carbonates isomorphes, les calcaires compactes sont, en général, mêlés d'argile, de silicate et d'oxydes de fer.

Le calcaire compacte et pur, présente une cassure un peu esquilleuse et conchoïdale; il a toute la dureté du calcaire cristallin, et ne contient pas plus de 1 à 3 p. 100 de matières étrangères. Lorsqu'il se charge d'une plus grande proportion d'argile, il perd de sa dureté, mais devient quelquefois plus tenace.

Il est susceptible de poli. Les pierres *lithographiques* et les calcaires jurassiques compactes, jaunes et rougeâtres, employées comme pierre de construction ou même d'ornement (calcaires de Saint-Ylie, dans le Jura), sont les meilleurs types de cette variété.

Parmi les bancs calcaires exploités autour de Paris, la pierre de Château-Landon et certains calcaires employés comme dalles ou pierre de liais, sont encore des types du calcaire compacte. Tels sont aussi les bancs du calcaire grossier de Paris, que l'on appelle *cliquarts*.

Ces calcaires se lient par des variations de texture, d'une part aux calcaires cristallins, et d'autre part aux calcaires oolitiques concrétionnés et terreux.

Le passage des calcaires compactes aux calcaires cristallins, est bien exprimé par les diverses variétés des calcaires carbonifères exploités dans le Nord, et surtout en Belgique, sous la dénomination de *pierre bleue*. Ces calcaires, d'un grain serré, sont parfois assez cristallins pour servir de marbres; le plus souvent ils sont lithoïdes, compactes, et fournissent une des plus belles pierres d'appareil employées dans les constructions. Certains calcaires du Lias, sont susceptibles de poli et quelquefois employés comme marbres coquilliers (lumachelles).

Le passage des calcaires compactes aux calcaires oolitiques et terreux, est indiqué par les séries de bancs calcaires des formations jurassiques, crétacées et tertiaires. Dans ces formations, on exploite les variétés les plus compactes, dites pierres

froides, parce qu'elles ont le tissu serré et le toucher froid du marbre ; pierres qui ne se taillent qu'au ciseau ou à la pointe; qui peuvent être creusées en auges, parce que leur tissu est assez serré pour ne pas laisser filtrer l'eau. D'autres bancs fournissent au contraire des pierres à tissu lâche, qui peuvent être sciées à sec et coupées à la hachette ; qui sont plus ou moins perméables à l'eau, et ne sauraient être utilement creusées et employées comme auges ou bassins; ces bancs marquent le passage aux calcaires terreux.

Calcaires oolitiques. — Ces calcaires sont composés de petits grains sphériques ou ellipsoïdes, ayant le plus souvent un quart ou un tiers de millimètre de diamètre, réunis ensemble par un ciment calcaire. Ce sont donc en réalité des calcaires grenus, à grains plus ou moins apparents.

Dans certaines variétés, les grains sont gros comme des grains de millet ou même comme des pois, calcaires *milliolitiques* ou *pisolitiques*, et en examinant la cassure de ces grains, on voit qu'ils sont composés de couches concentriques, déposées autour d'un grain microscopique qui a servi de centre d'attraction et d'agglomération.

Les calcaires oolitiques, finement grenus, abondent surtout dans les formations jurassiques, désignées sous la dénomination de formations oolitiques; ils alternent avec les calcaires compactes, et sont spécialement recherchés pour la construction, parce qu'ils sont plus faciles à tailler et à sculpter, et qu'ils ont cependant assez de consistance pour résister aux actions atmosphériques, lorsqu'ils ne sont pas gélifs. Ces calcaires doivent toujours être essayés à ce point de vue, parce que le plus grand nombre est gélif et s'exfolie. Lorsqu'ils n'ont pas ce défaut, les calcaires oolitiques sont très-recherchés, comme ceux de Montbar, employés à Paris, et ceux d'Aubigny, près de Caen, qui, non-seulement servent à toutes les constructions des pays environnants, mais s'exportent en Belgique et en Angleterre pour les constructions du style gothique, auxquelles leur degré de dureté et de cohésion convient parfaitement.

Calcaires terreux. — Une structure lâche, peu de densité, peu de résistance à l'écrasement, et une grande perméabilité, caractérisent les calcaires terreux qui peuvent, d'ailleurs, présenter toutes les variations de pureté.

La *craie* blanche résume ces caractères ; elle est composée de particules calcaires parmi lesquelles l'analyse microscopique a fait reconnaître, dans beaucoup de localités, une assez grande proportion de débris organiques. Des polypiers microscopiques, analogues à certaines espèces d'infusoires madréporiques, qui paraissent encore vivre et précipiter leurs débris dans les mers profondes de l'époque actuelle, auraient eu ainsi une grande part dans les concrétions et les dépôts calcaires de l'époque crétacée.

Certaines variétés de calcaires terreux, la *craie tuffeau*, par exemple, ont la propriété de se couper facilement dans les carrières, mais de durcir à l'air et de présenter assez de résistance pour être employées dans les constructions. D'autres fois, et dans la plupart des dépôts crayeux, qui ont de 3 à 500 mètres d'épaisseur dans le bassin de Paris, la craie est mélangée d'argile et prend le nom de craie *marneuse*. Elle se délite en absorbant l'eau atmosphérique et devient impropre à tout emploi de construction. La craie *chloriteuse* est non-seulement mélangée d'argile, mais de sable siliceux et de grains de chlorite ou hydrosilicate de fer.

Les calcaires terreux, purs et surtout mélangés, dominent aussi dans la série des dépôts tertiaires. Ainsi on exploite sur une multitude de points des environs de Paris, des calcaires tendres, qu'on peut scier à sec, avec des scies dentées, couper et tailler à la hachette, et employer comme pierres d'appareil ou comme moellons, parce qu'ils durcissent à l'air, lorsqu'ils ont perdu leur eau de carrière. Ces calcaires, dits *lambourdes*, sont assez purs et ne contiennent que de 6 à 12 pour 100 de matières étrangères, argile, sable siliceux et oxyde de fer.

Les calcaires concrétionnés, que l'on désigne sous la dénomination de *travertins*, sont généralement, d'une texture plus serrée que les calcaires terreux proprement dits, mais ils sont

très-caverneux, et par suite des vacuoles et cellules dont ils sont parsemés, ils perdent une partie de leur densité. Cette texture serrée et cette structure celluleuse rendent les travertins d'un emploi précieux dans les constructions; ils sont faciles à tailler, légers et cependant suffisamment résistants; enfin, ils prennent bien le mortier.

Les calcaires se mélangent d'argile et constituent les *marnes*, qui varient elles-mêmes, en devenant sableuses et se colorant en vert, en jaune et en rouge, par le mélange de silicates et d'oxydes de fer. Un calcaire qui contient 15 à 20 pour 100 d'argile, n'a plus aucune des propriétés qui font rechercher les roches calcaires : c'est déjà une *marne*.

Les véritables marnes, c'est-à-dire celles qui contiennent de 30 à 50 pour 100 d'argile, se délitent et même se délayent, font pâte avec l'eau et ne peuvent être appliquées ni aux usages de l'argile ni à ceux du calcaire; elles font effervescence avec les acides.

Les marnes sont employées pour l'amendement des terres sablonneuses.

Emploi des roches calcaires dans les constructions.

Les calcaires compactes, oolitiques et terreux, fournissent la plupart des moellons et des pierres d'appareils employées dans les constructions. Les neuf dixièmes des villes de la France sont construites en calcaires.

Les bancs exploités se débitent en pierres de *haut appareil* ou de *bas appareil*, suivant leur épaisseur; car, dans la plupart des cas, on doit replacer les pierres dans les constructions, suivant leur *lit de carrière*, c'est-à-dire les poser sur leur plan de stratification; la puissance du banc, sain et solide, détermine le maximum d'épaisseur des pierres.

Les variétés compactes peuvent seules être employées en *délit*, c'est-à-dire être posées sur champ, comme pour les montants ou chambranles de portes ou de croisées. Les variétés terreuses réussissent rarement dans cette position, et il faut monter ces

parties verticales en chaînes, c'est-à-dire en blocs superposés suivant leur lit de carrière.

On peut dire que la variété compacte finit là où l'on peut commencer à scier la pierre avec des scies à dents; ces calcaires compactes ne pouvant être sciés qu'avec la scie à lame, aidée d'eau et de sable; puis taillés à la pointerolle et au ciseau. Les calcaires compactes sont également susceptibles de poli.

Les variétés terreuses peuvent non-seulement être sciées avec la scie à dents, mais coupées à la hachette et au rabot.

Les calcaires les plus durs et qui absorbent le moins facilement l'eau, sont, en général, les meilleurs pour les constructions. Dans une carrière, on préférera les bancs les plus denses. Les blocs extraits doivent être sonores, surtout lorsqu'ils ont perdu leur eau de carrière. Les délits et flaches intérieures déterminent un son sourd et mat.

Beaucoup de calcaires terreux, très-tendres en carrière, acquièrent la dureté suffisante pour les constructions, lorsqu'ils ont perdu leur eau; aussi doit-on faire attendre la pierre avant de l'employer. En hiver, on la fait attendre à l'abri, dans l'intérieur des carrières.

Les calcaires les plus compactes que fournissent les environs de Paris, sont les bancs dits *Liais* et *Cliquarts*, épais de $0^m,20$ à $0^m,40$, sonores, à cassure conchoïdale, point gélifs. Cette qualité était autrefois la plus recherchée pour les constructions monumentales; on l'a reconnue dans l'église Notre-Dame, bâtie au treizième siècle; le sous-bassement et le portail de la colonnade du Louvre en présentent aussi de beaux échantillons. Cette pierre peut s'employer en délit. Comme elle est de bas appareil, on ne l'emploie guère aujourd'hui que pour les escaliers, les appuis de croisées, les dalles; elle coûte de 70 à 80 francs le mètre cube.

La pierre de Château-Landon, avec laquelle est construit en grande partie, l'arc de l'Étoile, peut être assimilée à cette variété.

Le calcaire *roche* est compacte, généralement très-coquillier, il porte jusqu'à $0^m,60$ et $0^m,80$ d'appareil; sa cassure est grenue;

il est encore assez dur et assez homogène pour être employé en délit. Cette roche peut fournir des colonnes (notamment celles de la cour du Louvre, qui ont de 3 à 4 mètres de fût) ; on en tire des pièces d'entablement qui ont même 7 à 8 mètres de longueur.

Les bancs dits *banc franc* et *banc royal*, sont des variétés de *roche* qui ne diffèrent que par un grain plus ou moins fin et serré. Le banc royal de Conflans a fourni le fronton du Panthéon dont les pièces d'angle pesaient plus de 20 000 kilogrammes.

Ces qualités se vendent de 50 à 70 francs le mètre cube.

On donne le nom de *lambourde* au véritable calcaire grossier ou terreux, qui est tendre, d'un grain assez grossier et très-coquillier. On trouve des bancs de 3 à 5 mètres. La lambourde se débite à la scie dentée et fournit la plus grande partie des moellons et pierres d'appareil des constructions courantes. C'est dans les bancs de lambourde qu'ont été creusées les catacombes de Paris, vastes carrières dont les vides ont servi à sa construction et que l'on est obligé aujourd'hui de remblayer et de soutenir.

La lambourde en pierres d'appareil se vend de 25 à 50 francs le mètre cube. Les moellons durs valent de 8 à 10 francs, les moellons tendres de 4 à 5 francs.

Dans le Nord de la France, la Belgique et la Prusse rhénane, on emploie dans les constructions, les calcaires compactes, dits *pierres bleues*, qui appartiennent aux calcaires carbonifères et fournissent de beaux appareils. Ces calcaires, désignés aussi sous les dénominations de calcaires de Soignies ou des Écaussines, carrières sises en Belgique et rapprochées de la frontière de France, sont massifs, bleuâtres ou gris plus ou moins foncé, souvent parsemé de veines spathiques blanches; ils peuvent recevoir toutes les formes, se sculpter, se polir comme le marbre et résistent parfaitement aux influences atmosphériques. On les compte en carrières, 50 francs le mètre cube en blocs dégrossis et de faibles dimensions, et de 80 à 100 francs en grandes pierres d'appareil, piquées et mises à dimensions.

Certains calcaires compactes des terrains jurassiques, tels que

la pierre de Tonnerre, de Clamecy, de Besançon ; d'autres qui appartiennent aux terrains néocomiens ou crétacés, tels que la pierre d'Angoulême, la pierre froide de Marseille (exploitée à Cassis), sont des roches blanches ou jaunâtres, à pâte fine, à cassure conchoïdale, susceptibles de poli comme la pierre lithographique.

Ces roches compactes peuvent atteindre la dureté et la solidité du marbre, dont elles ne diffèrent que par la texture compacte ; elles se vendent de 50 à 80 francs le mètre cube en pierres d'appareil et servent aussi à faire des dallages, des auges, etc...

Les calcaires oolitiques ne sont plus compactes ; ils absorbent l'eau plus ou moins facilement. Les variétés pures, comme celles des carrières d'Aubigny, qui contiennent 97,40 de chaux carbonatée, résistent parfaitement aux agents atmosphériques, bien qu'elles se laissent tailler facilement ; elles sont très-recherchées pour les détails des sculptures gothiques des églises. Le prix de cette pierre de choix est de 60 à 70 francs le mètre cube.

Ces prix baissent à mesure que le calcaire devient plus tendre et se charge plus de parties argileuses. Les carrières dites d'Allemagne, situées également près de Caen, produisent des calcaires oolitiques tendres, aux prix de 20 à 30 francs le mètre cube.

La craie est le type des calcaires tendres et terreux ; aucun calcaire n'est plus pur que la craie blanche des environs de Paris, qui ne peut cependant être utilisée comme pierre de construction, vu son faible état d'agrégation et son peu de résistance à l'écrasement.

La craie tuffau, quoique moins pure, est plus solide, surtout lorsqu'elle a perdu son eau de carrière. Cette pierre, exploitée dans la partie crayeuse du Nord et de l'Ouest, avec laquelle on a récemment bâti de vastes constructions à Tours, compense par les facilités de son extraction, son peu de résistance à l'écrasement et les proportions plus considérables qu'on doit donner aux murs, aux piliers, etc... On l'extrait au-dessous de 20 francs le

mètre cube en belles pierres d'appareil qui sont très-absorbantes, mais ne sont cependant pas gélives.

Les calcaires sont les pierres de construction par excellence, à la condition qu'ils ne seront pas de nature gélive. On ne doit jamais négliger les précautions pour éviter l'emploi des variétés gélives en tailles ou parements exposés à l'air.

Lorsqu'on étudie successivement les bancs d'une formation calcaire, telle, par exemple, que celle du calcaire grossier dans le bassin de Paris, celles de la craie ou des divers étages oolitiques, on est frappé de la multiplicité des variétés et des propriétés qu'elles présentent au point de vue de la construction. Ces variétés proviennent des différences de cohésion, et surtout, des mélanges d'argile et de sables; il en résulte des différences qui se manifestent à la fois par des variations de densité et par celles de la résistance à l'écrasement. Ces propriétés souvent mesurées donnent les résultats suivants pour la résistance par centimètre carré :

	DENSITÉ.	RÉSISTANCE à l'écrasement. kilogr.
Marbre	2,65 à 2,72	600 à 700
Calcaire compacte liais	2,44	285 à 440
Calcaire liais à gryphées	2,60	300
Calcaire roche	2,30	130 à 135
Calcaire oolitique	2,00 à 2,20	120 à 180
Calcaire lambourde	1,55 à 1,80	20 à 66

On voit que la résistance concorde toujours avec la densité, de telle sorte que la qualité d'un calcaire pour les usages de construction, peut être assez bien appréciée par la mesure de sa pesanteur spécifique. On n'emploie d'ailleurs les calcaires dans les constructions, que sous le dixième de la charge nécessaire pour les écraser.

Emploi des calcaires comme pierres à chaux.

Lorsqu'on choisit un calcaire comme pierre de construction, on ne s'occupe guère que de sa consistance, de sa résistance à

l'écrasement, de sa nature non gélive, de sa structure homogène et non délitée, de la facilité de sa taille, de la vivacité et de la conservation des arêtes. Ces qualités concordent en général avec la pureté du calcaire, mais cependant on ne s'occupe pas de sa composition, parce que l'analyse chimique ne peut ajouter aucun élément à l'appréciation des caractères physiques de la roche.

Il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit de fabriquer de la chaux ; l'analyse indique d'une manière certaine, les qualités du produit qui résultera de la calcination.

L'emploi des calcaires comme *pierres à chaux* est, en quelque sorte, plus important pour les constructions, que comme moellon ou pierre d'appareil. On peut en effet employer pour ce dernier usage les grès, les schistes, les gneiss, les granites; on peut même construire avec des briques ; mais on se passe difficilement de chaux. Certaines contrées qui ne présentent que des roches granitiques ou des schistes argileux, appartenant au terrain de transition, doivent faire venir le calcaire de très-loin pour obtenir de la chaux; aussi toutes les fois que certaines formations supérieures de ces terrains de transition, contiennent des bancs calcaires, devoniens ou carbonifères, la fabrication de la chaux y devient une industrie très-importante. Telles sont les fabrications de la chaux dans la basse Loire et dans certaines parties de la Normandie, qui se développent d'autant plus, que le commerce de cette chaux alimente, non-seulement les constructions sur de vastes surfaces dépourvues de calcaires, mais aussi l'amendement et le chaulage des terres argileuses, feldspathiques et quartzeuses, qui exigent des quantités encore plus considérables.

Les calcaires, suivant leur composition, fournissent des chaux très-diverses, dont les trois types sont : la chaux *grasse,* la chaux *maigre* et la chaux *hydraulique.*

Tous les calcaires purs, c'est-à-dire qui ne contiennent que quelques centièmes d'argile, de magnésie ou de sable mélangé, donneront de la chaux grasse, c'est-à-dire une chaux qui foisonne lorsqu'on l'éteint avec l'eau, et forme avec le sable

siliceux, un mortier qui durcit lentement à l'air et acquiert une dureté moyenne; ces mortiers ne peuvent d'ailleurs durcir dans l'eau, où ils se dissoudraient et se délayeraient. Le marbre blanc, la craie blanche, le calcaire compacte lithographique, les calcaires terreux ou moellons, tous donneront des chaux grasses, tan qu'ils restent suffisamment purs. Voici, par exemple, les analyses de chaux grasses de bonne qualité, provenant de la calcination des calcaires de Château-Landon et de Vaugirard.

	Château-Landon.	Vaugirard.
Chaux	96,40	96,10
Magnésie	1,80	»
Argile	1,80	2,80
Sable	»	1,00

On comprend que l'addition de quelques centièmes de magnésie, d'argile et de sable, ne pourrait pas encore altérer bien sensiblement la qualité de la chaux; mais certaines chaux contiennent 20 et 25 pour 100 de magnésie, 15 à 25 pour 100 de sable disséminé, et ces chaux sont alors *maigres non hydrauliques.* Les chaux maigres non hydrauliques foisonnent très-peu et ne durcissent ni à l'air, ni dans l'eau.

Ce qu'on doit craindre dans les calcaires employés pour la fabrication des chaux grasses, c'est surtout la magnésie et le sable, dont la proportion ne doit pas dépasser 4 à 5 pour 100; c'est pour cela qu'on voit toujours préférer les qualités les plus pures. Ainsi les marbres blancs, les calcaires carbonifères de Soignies et des Écaussines, les calcaires compactes à cassure esquilleuse, la craie la plus blanche, sont les variétés les plus recherchées; on ne s'inquiète pas des colorations en bleuâtre, jaunâtre ou rougeâtre, qui annoncent la présence de quelques centièmes d'oxydes de fer, car peu importe que la chaux soit colorée.

Les chaux ne deviennent tout à fait *maigres non hydrauliques* que par des proportions considérables de sables ou de magnésie; la nature sableuse du calcaire se reconnaît assez facilement, mais l'analyse seule peut signaler la magnésie. En examinant

les analyses de chaux maigres non hydrauliques, on voit que les proportions de 15 à 25 de magnésie, de 15 à 25 de sable, neutralisent complétement les propriétés de la chaux.

Les chaux hydrauliques ont été divisées par M. Vicat en trois classes :

« 1° Les *chaux moyennement hydrauliques*, faisant prise après quinze ou vingt jours d'immersion, et continuant à durcir; les progrès de leur durcissement devenant de plus en plus lents, surtout après le sixième ou huitième mois. Après un an, leur dureté est comparable à celle du savon sec : elles se dissolvent encore dans une eau pure, mais avec beaucoup de difficulté. Leur foisonnement est variable; il atteint la limite de celui des chaux maigres, sans s'élever jusqu'à celui des chaux grasses. »

Les analyses indiquent que ces chaux calcinées contiennent de 11 à 12 pour 100 d'argile.

« 2° Les *chaux hydrauliques*, qui font prise après six ou huit jours d'immersion, et continuent à durcir. Les progrès de cette solidification peuvent s'étendre jusqu'au douzième mois, quoique la plus grande partie de la dureté soit acquise au bout de six. A cette époque déjà, la dureté de la chaux est comparable à celle de la pierre très-tendre, et l'eau ne l'attaque plus. Son foisonnement est constamment faible comme celui des chaux maigres. »

Les analyses indiquent que ces chaux contiennent de 13 à 18 pour 100 d'argile.

« 3° Les *chaux éminemment hydrauliques*, qui font prise du deuxième au quatrième jour d'immersion, après un mois, sont déjà dures et tout à fait insolubles; au sixième mois, elles se comportent comme les pierres calcaires absorbantes; elles donnent des éclats par le choc, et présentent une cassure écailleuse. Leur foisonnement est constamment faible comme celui des chaux maigres.

« Les chaux grasses, les chaux maigres et les chaux hydrauliques de tous les degrés, peuvent être blanches, grises, fauves, rousses, etc. »

On dit que la chaux fait prise lorsqu'elle résiste au doigt poussé avec la force moyenne du bras, et qu'elle ne peut plus changer de forme sans se briser. M. Vicat indique, comme ayant fait prise, la chaux qui supporte sans dépression une aiguille à tricoter de $0^m,0012$ de diamètre, limée carrément à son extrémité, et chargée d'un poids de $0^k,30$.

Ces chaux contiennent de 20 à 29 pour 100 d'argile.

Ayant ainsi la clef de la propriété hydraulique des chaux, on a pu en fabriquer artificiellement avec des mélanges de calcaire et d'argile, faits artificiellement.

On a même fabriqué ce que l'on appelait autrefois des ciments romains, et que l'on appelle aujourd'hui ciments de Paris, de Boulogne, de Portland, etc. Ces ciments calcinés contiennent de 31 à 36 pour 100 d'argile. Gâchés avec l'eau, ils se solidifient presque instantanément, comme le plâtre, et acquièrent une solidité analogue à celle des calcaires.

Les mélanges de calcaire et d'argile avec lesquels on fabrique les chaux hydrauliques ou les ciments, doivent être aussi intimes que possible. Ceux que la nature présente tout faits, sous forme de calcaires argileux ou de marnes, sont en général préférables aux mélanges artificiels, parce qu'ils sont plus intimes.

C'est à ce titre de mélange intime, que l'on exploite beaucoup de calcaires argileux, notamment dans les formations jurassiques. Dans le terrain tertiaire des environs de Paris, on exploite également des marnes qui contiennent 20 pour 100 d'argile, et fournissent une base excellente, pour la fabrication des ciments.

ARRAGONITE.

Couleur. — Blanc limpide ou mat; jaune clair, translucide ou opaque; quelquefois rougeâtre ou violacé par le mélange d'argile ferrugineuse.

Densité. — 2, 9.

Dureté. — Raye le spath calcaire.

Point de clivages; la cassure est vitreuse et conchoïdale.

Formes cristallines. La forme primitive est un prisme droit rhomboïdal, sous l'angle de 116°. La forme dominante est le prisme modifié par deux troncatures latérales, et terminé par un biseau (*fig.* 110). Les cristaux primitifs sont quelquefois groupés autour d'un axe commun, de manière à prendre l'apparence de prismes hexagonaux réguliers (*fig.* 111).

Réfraction. — *Double*, appréciable seulement par les tourmalines.

Lorsqu'on la chauffe au chalumeau, l'arragonite décrépite et se disperse en petits fragments, qui sont les rhomboèdres microscopiques de la chaux carbonatée. On peut distinguer par ce moyen, les arragonites concrétionnées des calcaires qui peuvent présenter des structures analogues.

La composition de l'arragonite est exactement celle de la chaux carbonatée. On avait attribué autrefois la transformation

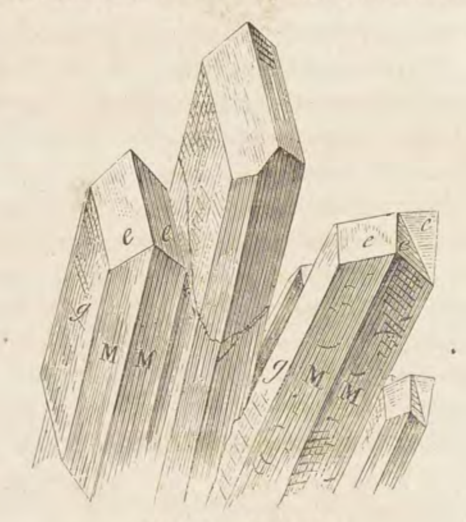


Fig. 110. — Arragonite.

des caractères physiques à des traces de strontiane que contiennent quelques variétés; mais il en est d'aussi pures que le spath d'Islande. La chaux carbonatée est donc *dimorphe*.

On a reconnu que la chaux carbonatée, dissoute par des

eaux très-chargées d'acide carbonique et bouillantes, se déposait à l'état d'arragonite.

Les cristaux limpides ou translucides se rapportent aux formes indiquées par le groupe (*fig.* 110).

Ce groupe est une arragonite de Bohême, jaune translucide, à cassure vitreuse. Les faces primitives sont parfaitement lisses et présentent l'angle caractéristique de 116° ; les faces dérivées *g* sur les arêtes du prisme, et les faces *e* du sommet, sont généralement striées.

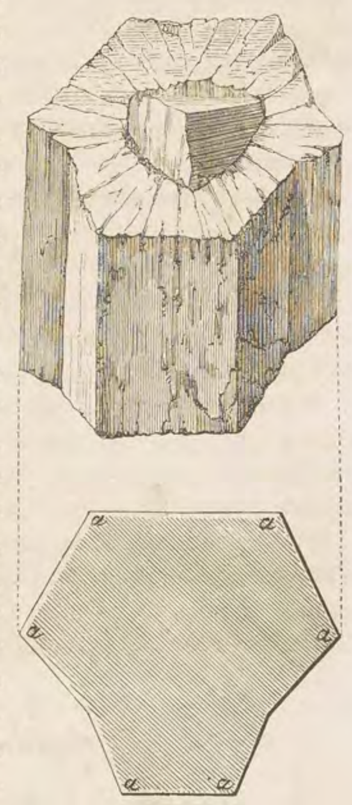


Fig. 111. — Arragonite; prisme hexagonal.

On remarque sur deux de ces cristaux une hémitropie indiquée par l'angle rentrant du sommet; cette disposition hémitrope est très-fréquente dans ce type de cristaux.

Dans les argiles gypseuses et salifères qui se trouvent sur plusieurs points des Pyrénées, notamment aux environs de Dax et en Aragon (d'où vient la dénomination d'arragonite), on trouve des prismes opaques, généralement rougeâtres ou violacés, qui sont formés par des groupements de prismes rhomboïdaux. La figure 111 représente un de ces cristaux en élévation et en plan. Les angles *a* sont en réalité de 116°, ainsi que l'indique le plan, et les prismes rhomboïdaux sont toujours groupés de telle sorte qu'il existe sur une ou deux faces, des angles rentrants, qui indiquent ce groupement complexe.

Les sommets de ces prismes hexagonaux non réguliers sont

rarement des faces planes; on y distingue ordinairement des stries formées par les saillies des biseaux *e*, *e*. Souvent, comme dans l'exemple ci-contre, un cristal hexagonal mâclé émerge de l'axe central.

On trouve l'arragonite cristallisée, fibreuse ou concrétionnée, dans les fentes et cavités des roches basaltiques.

Certains gîtes métallifères ont également présenté des concrétions stalactiformes d'arragonites diversement colorées, en jaune, vert ou violet, qui ornent les collections.

Les concrétions coralloïdes blanches, à structure fibreuse, de Styrie, sont également remarquables par leurs rameaux déliés et contournés.

L'arragonite est déposée en grains oolitiques et pisolitiques par certaines eaux minérales, notamment à Carlsbad. Ces concrétions se distinguent des calcaires pisolitiques ordinaires par l'éclat nacré particulier à beaucoup d'autres variétés d'arragonite, par la structure fibreuse et radiée des grains, et par leur plus grande dureté.

Ainsi que nous l'avons dit précédemment, le dépôt à l'état d'arragonite, est dû à la température élevée des eaux thermales; les eaux carboniques chargées de chaux carbonatée, la déposent à l'état de calcaire compacte ou spathique, lorsqu'elles sont froides.

Ce phénomène explique pourquoi les arragonites, qui sont d'ailleurs des minéraux accidentels, se trouvent de préférence dans les terrains volcaniques, qui, plus souvent que les autres, ont été traversés par des sources thermales.

ANHYDRITE.

CaS^3.

Couleurs. — Blanc limpide ou mat; blanc rosé, translucide; bleuâtre, rougeâtre translucide ou opaque.

Densité. — 2, 9.

Dureté. — Un peu supérieure à celle du spath calcaire.

Clivages. — Trois clivages qui conduisent au prisme droit rectangulaire.

Formes cristallines. — Les cristaux sont rares et se rapportent toujours au prisme droit à base rectangulaire, indiqué par les clivages. Quelques-uns sont modifiés sur les angles ou sur les arêtes, sans que le type primitif soit sensiblement altéré.

Au chalumeau, l'anhydrite ne donne pas d'eau, ne s'exfolie ni ne blanchit comme le gypse. Elle fond très-difficilement en émail blanc.

L'anhydrite est une substance accidentelle qui se trouve dans les gypses, soit en nodules cristallins, soit en masses lenticulaires saccharoïdes ou compactes. Souvent, par exemple, les gypses des Alpes, hydratés à l'extérieur, présentent au centre un noyau d'anhydrite.

Lorsque l'anhydrite est à l'état cristallin, on la reconnaît facilement à ses trois clivages rectangulaires. Lorsqu'elle est à l'état saccharoïde, elle constitue un marbre, qui ne se distingue des marbres calcaires, que par sa plus grande dureté et parce qu'il ne fait pas effervescence avec les acides.

Les variétés saccharoïdes blanches et bleuâtres, ont été quelquefois employées comme pierre d'ornement ou plaques polies, mais ces marbres ne doivent être employés qu'à l'intérieur, parce qu'exposés à l'air humide, ils se ternissent en absorbant l'eau et passent à l'état de gypse.

GYPSE.

$CaS^3 + 2Aq.$

Couleurs. — A l'état pur et cristallisé, le gypse est blanc limpide, ou blanc mat, quelquefois jaunâtre translucide.

Densité. — 2, 25.

Dureté. — Rayé par le spath calcaire et même par l'ongle.

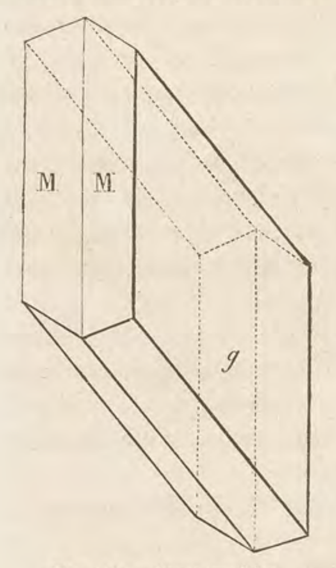
Clivages. — Un seul clivage très-facile et deux plus difficiles; ces

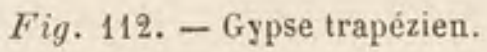
trois clivages conduisent à un prisme droit rhomboïdal sous l'angle de 113°.

Forme scristallines. — Cristaux dits trapéziens, et prismes diversement modifiés, que l'on suppose dérivés d'un prisme rhomboïdal oblique sous l'angle M/M = 111°. Le clivage facile serait ainsi parallèle au plan diagonal *g*.

Au chalumeau, le gypse perd sa transparence en perdant son eau de cristallisation; il s'exfolie, devient blanc mat et pulvérulent; calciné, il constitue le plâtre.

La forme la plus ordinaire du gypse cristallisé est la forme




Fig. 112. — Gypse trapézien.

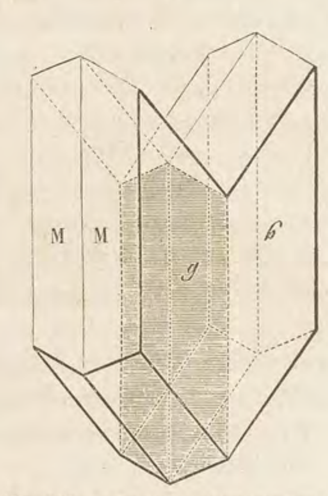


Fig. 113. — Gypse trapézien hémitrope.

dite trapézienne, qui est celle du prisme de clivage, aplati et biselé sur toutes ses arêtes (*fig.* 112).

Très-souvent les cristaux de gypse trapézien sont hémitropes conformément au tracé de la figure 113.

D'autres cristaux présentent des modifications qui ne paraissent pas concorder avec le prisme rhomboïdal droit, indiqué par les clivages. On a supposé qu'ils dérivaient d'un prisme rhom-

boïdal oblique, qui serait dès lors la forme primitive du gypse, et dont les angles seraient M/M = 111°, P/M = 109°.

Dans cette hypothèse, le clivage facile serait diagonal, indiqué par la face *g*; les quatre faces M du trapézien seraient les faces primitives; l'un des clivages difficiles étant celui de la base P, tandis que l'autre serait placé normalement sur l'arête d'intersection des deux faces M.

Les cristaux de gypse présentent souvent des faces courbes, par l'effet de modifications multipliées qui se croisent sous des angles très-obtus. La figure 114, dessinée d'après un groupe



Fig. 114. — Gypse cristallisé.

de cristaux naturels, indique la disposition et l'apparence que prennent très-souvent les cristaux trapéziens simples ou hémitropes.

L'analyse de ces gypses limpides donne :

		OXYGÈNE.	RAPPORT.
Acide sulfurique.....	46	27,53	3
Chaux..............	33	9,26	1
Eau................	21	18,66	2

Ce qui a conduit à la formule $CaS^3 + 2Aq$.

Le gypse cristallin est éminemment lamelleux, par suite de la

facilité du clivage principal. Les lames minces des variétés blanches et transparentes sont flexibles, mais avec très-peu d'élasticité. Elles se courbent, lorsqu'on veut les rompre suivant les clivages difficiles. Ces clivages sont mis en évidence par des glaces et des stries qui se forment par le ploiement.

La forme dite *fer de lance,* si commune aux environs de Paris, est déterminée par une hémitropie dont la figure 115 indique la disposition. Ces cristaux, dont les angles sont oblitérés, forment des masses lenticulaires disséminées dans les marnes qui sont à la base des couches de gypse.

Fig. 115. — Gypse en fer de lance.

Le gypse cristallisé jaunâtre des environs de Paris, est beaucoup moins flexible et se clive plus nettement que les variétés incolores et limpides.

L'état cristallin existe encore sous deux formes distinctes, le gypse fibreux et le gypse saccharoïde.

Le gypse fibreux remplit souvent les fissures de certaines roches argileuses. Ce sont des prismes allongés, perpendiculaires aux parois de ces fissures.

La structure saccharoïde est fréquente dans les dépôts gypseux : tantôt les cristaux sont assez volumineux pour que la roche soit grenue ; d'autres fois ils sont très-fins, et la texture est presque compacte.

Les gypses stratifiés en couches, soit en amas amygdalins et concrétionnés, se distinguent des roches calcaires par leur légèreté et par leur peu de dureté ; ils résistent au marteau, lorsqu'on veut les briser, non en vertu d'une ténacité réelle, mais parce qu'ils s'écrasent sous le choc.

Le gypse compacte n'est en général qu'une variété du gypse saccharoïde ; sa cassure, au lieu d'être grenue, est esquilleuse, et sa ténacité plus grande. Certains blocs accidentels, parmi les gypses compactes de Castellina, en Toscane, sont

laminaires, parce que la texture saccharoïde, en devenant si fine, passe à la texture cristalline, et que le clivage facile se manifeste alors de manière à ramener la variété compacte à la variété laminaire.

Lorsque le gypse finement saccharoïde ou compacte est blanc, pur et finement saccharoïde, il constitue l'*albâtre*.

La blancheur et la translucidité de l'albâtre, la facilité avec laquelle on le coupe et le taille, ont déterminé son emploi pour la sculpture en statuettes, vases et ornements de toute espèce; mais son peu de dureté et son peu de résistance au choc et au frottement limitent beaucoup les applications de cette industrie, qui n'existe guère qu'en Toscane, où l'abondance de l'albâtre l'a fondée de temps immémorial.

La formation gypseuse de la Toscane est située au sud-ouest de Volterra, vers Castellina. Le terrain tertiaire y renferme des bancs de gypse saccharoïde, un peu mélangés d'argiles marneuses, grises ou verdâtres, avec lesquelles ils alternent. Dans les principaux bancs de gypse, se trouvent des masses amygdalines de gypse blanc et pur, déposées suivant les plans de stratification, et dont le volume dépasse souvent un mètre cube; on les exploite en les isolant, et c'est l'albâtre qui s'expédie dans le monde entier. Parmi ces blocs, il en est qui sont veinés de parties argileuses, grises, verdâtres ou jaunâtres, qui servent aussi pour l'ornement.

On rencontre dans ces mêmes bancs de gypse, des cristaux lenticulaires ou maclés en fer de lance, qui sont d'une parfaite limpidité.

Le gypse est une des substances qui se forment et cristallisent le plus facilement, souvent même sous nos yeux; les fissures, des excavations naturelles dans lesquelles circulent des eaux chargées de chaux sulfatée, se tapissent de cristaux. Ce phénomène est fréquent dans les terrains gypseux qui renferment aussi le sel gemme, et même dans les mines où l'on exploite des sulfures métalliques.

Les mines de Campiglia, en Toscane, où l'on avait exploité, du temps des Romains, des gîtes de pyrite cuivreuse encaissés

dans le calcaire, étaient abandonnées depuis plus de quinze siècles, lorsqu'on les retrouva, il y a vingt-cinq ans. Les excavations pratiquées dans des roches dures s'étaient conservées, et les eaux chargées de principes calcaires y avaient circulé, en rencontrant les pyrites de cuivre et de fer qui se décomposaient lentement; plusieurs de ces excavations étaient tapissées de cristaux de gypse, prismatiques et trapéziens, dont quelques-uns avaient $0^{m},20$ de longueur.

Cette facilité de transport et de dépôt cristallin explique les divers gisements du gypse, le plus souvent, sous forme de couches sédimentaires cristallines et saccharoïdes; soit disséminé en cristaux ou amas cristallins, suivant la stratification de certaines argiles et marnes; soit enfin en amas dans des terrains bouleversés, comme s'il avait rempli des fissures et des excavations produites par des mouvements violents des roches soulevées et accidentées.

Les gypses se rencontrent surtout dans deux positions géologiques, la formation du trias et les terrains tertiaires.

Ainsi, dans le trias de l'Est et du Centre de la France, le gypse existe en couches régulièrement stratifiées, en masses lenticulaires et en amas disposés suivant la stratification des marnes irisées. A Saint-Léger, dans Saône-et-Loire, une couche atteint 5 mètres de puissance.

Les gypses de Saint-Léger, soit en couches, soit en amas botryoïdes disséminés dans les marnes, sont activement exploités et expédiés dans tous les départements du Centre et du Midi; ces gypses sont employés à la fabrication du plâtre et des stucs, et pour l'amendement des terres.

C'est surtout le bassin tertiaire de Paris qui a le privilége des exploitations les plus productives. Le gypse y forme trois couches distinctes; la grande masse d'une puissance de 15 mètres au-dessous et séparé par des marnes, un banc de 7 mètres, puis, enfin, la basse masse de 2 mètres; ensemble 24 mètres de puissance de gypse. Cette richesse exceptionnelle est exploitée avec d'autant plus d'activité, que la pierre à plâtre de

Paris a une grande supériorité sur celle de tous les autres gîtes, ce qui est attribué à une proportion de 7 à 8 pour 100 de chaux carbonatée qui s'y trouve intimement mélangée.

Le gypse de Paris est jaunâtre, saccharoïde, quelquefois lamelleux. Dans les marnes inférieures, on rencontre souvent en quantité assez considérable pour qu'on puisse aussi les recueillir, les cristaux en fer de lance, avec leurs clivages caractéristiques.

Le gypse, soumis à une calcination prolongée, à une température de 120 à 150 degrés, perd son eau de cristallisation et se transforme en plâtre opaque, d'un blanc mat et pulvérulent. Si on le réduit en poudre et qu'on verse de l'eau dessus, il reprend avec avidité son eau de cristallisation, et recristallise en cristaux microscopiques qui s'enchevêtrent les uns dans les autres de manière à former une masse solide. Cette recristallisation détermine un dégagement de chaleur très-prononcé et un gonflement sensible.

Cette propriété n'existerait plus si le plâtre était calciné au-dessus de 250 degrés, au rouge, par exemple.

Plus le plâtre est pur, plus la recristallisation est rapide, à tel point que les ouvriers sont obligés d'employer promptement le plâtre gâché et, par conséquent, de ne gâcher à la fois que la quantité dont ils ont besoin.

Si on fait le plâtre avec des cristaux, il se consolide si vivement qu'il faut de suite le couler et l'appliquer. Ce plâtre est le plus pur, et par suite d'un grain très-fin et d'une blancheur qui le rend spécialement propre au moulage des objets artistiques.

Comme il prend trop vite, on emploie souvent pour le même usage le gypse en roche, mais à gros grains lamelleux, c'est-à-dire formé non plus de petits grains saccharoïdes, comme la pierre à plâtre ordinaire, mais de petits cristaux enchevêtrés. On obtient ainsi, un plâtre encore très-fin et très-blanc.

Préparé et gâché avec certaines précautions, avec 2 pour 100 d'alun, le plâtre est à la fois plus dur et susceptible de poli; mais les applications ordinaires ne peuvent supporter l'excès de dépense qui résulte de cette addition.

Avec un mélange de chaux et de gélatine, on obtient des stucs que l'on peut colorer avec divers oxydes métalliques de manière à produire des imitations de marbres.

Le gypse de Paris s'emploie à la fois comme mortier pour lier les moellons et comme enduit. Il s'extrait à si bas prix qu'il s'en exporte des quantités considérables à l'état cru. Sur le carreau des carrières, le plâtre en moellons ne coûte pas plus de 4 francs le mètre cube.

SPATH FLUOR.

CaFl.

Couleurs. — Blanc limpide, vert, jaune, violet, bleuâtre, transparent ou translucide, quelquefois opaque.

Densité. — 3,15.

Dureté. — Rayé par l'apatite; raye le spath calcaire.

Formes cristallines. — Le cube est la forme dominante; il est souvent modifié sur les arêtes et bordé par des facettes correspondant à l'hexatétraèdre. On le rencontre également modifié sur les angles par des troncatures ou des pointements; plus rarement on le trouve en octaèdres.

Clivages. — Quatre clivages conduisant à l'octaèdre régulier. La cassure est à la fois vitreuse et lamelleuse.

Réduit en poudre, le spath-fluor est attaqué même à froid, par l'acide sulfurique, et donne lieu à und égagement d'acide fluorhydrique qui corrode le verre.

Au chalumeau, il décrépite, et se fond en une perle d'émail blanc. Quelques variétés sont vivement phosphorescentes lorsqu'on les chauffe.

L'état cristallisé ou cristallin est l'état normal du spath fluor dont la composition est :

Calcium........................	51,85
Fluor..........................	48,15

On l'appelle souvent *chaux fluatée*, parce qu'on le considérait autrefois comme composé de chaux et d'acide fluorhydrique.

Le spath fluor cubique, forme des groupes cristallisés, de couleurs très-variées, qui ornent toutes les collections. La figure 116 est un exemple qui provient du Derbyshire, dont les filons fournissent les plus beaux échantillons; ceux du Cornwall et de la Saxe sont également remarquables par leur volume et par la variété des couleurs.

La figure 116 indique la disposition fréquente des stries qui

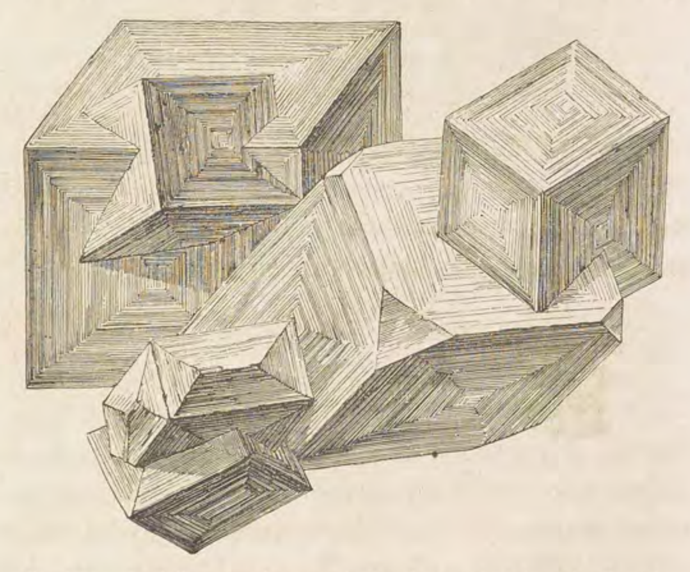


Fig. 116. — Spath fluor en cubes groupés. Les faces portent des stries d'accroissement conduisant à l'hexatétraèdre.

tendent à modifier les formes cubiques en les faisant passer à l'hexatétraèdre.

A l'état simplement cristallin, le spath fluor est finement lamelleux et souvent remarquable par ses zones colorées en violet, en vert et en jaune; il est employé pour la fabrication de vases et d'objets d'ornement.

Au Hartz on a trouvé une variété compacte qui est d'ailleurs

assez rare, le spath fluor étant une gangue de filons et se trouvant par conséquent toujours à l'état cristallin.

Le spath fluor a deux propriétés qui ont déterminé des applications. Attaqué par l'acide sulfurique, il donne lieu à un dégagement d'acide fluorhydrique qui corrode le verre : on l'emploie donc toutes les fois qu'on a besoin de produire cet acide, et surtout pour la gravure sur verre. En second lieu, il est fusible et peut servir de fondant pour le traitement métallurgique de plusieurs minerais, notamment des minerais de cuivre.

CHAUX PHOSPHATÉE. — APATITE.

$$3Ca^3Ph^5 + Ca(Cl,Fl)^2.$$

Couleurs. — Blanc, vert, vert jaunâtre, violacé; translucide ou opaque.

Densité. — 3,20.

Dureté. — Rayé par le feldspath ; raye difficilement le verre.

Formes cristallines. — Les cristaux sont toujours des prismes hexagonaux réguliers, qui ne diffèrent les uns des autres que par les modifications des sommets; les prismes sont ordinairement terminés par des pyramides hexagonales, tantôt complètes tantôt tronquées.

Clivages. — Quelques variétés présentent des clivages difficiles, parallèles aux faces d'un prisme hexagonal régulier. Cassure vitreuse, inégale et grenue.

Très-difficilement fusible au chalumeau, sur les bords des éclats minces. Attaquable par digestion dans l'acide azotique.

La chaux phosphatée est une substance accidentelle dans certaines roches métamorphiques, où ses cristaux sont tantôt empâtés, et tantôt tapissent les géodes et fissures.

Ces cristaux sont toujours caractérisés par la prédominance des faces du prisme hexagonal régulier. La figure 117 représente deux cristaux opaques, gris violacé, à surfaces marbrées, de

Snarum en Norwége ; ces cristaux sont de grandeur naturelle, et donnent une idée précise de la forme dominante.

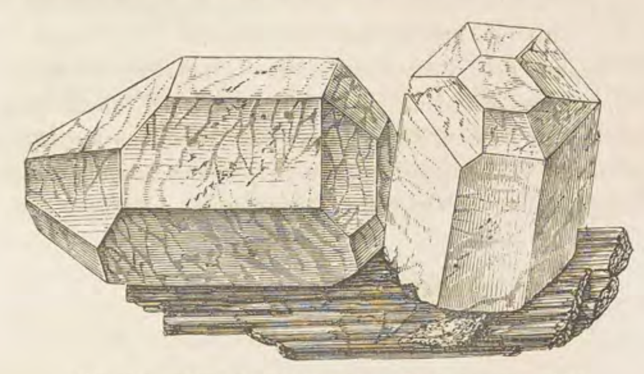


Fig. 117. — Chaux phosphatée, prismes hexagonaux pyramidés.

Les sommets, terminés par des pyramides hexagonales, ne laissent pas deviner si le prisme appartient au troisième ou au quatrième système cristallin; mais les indices de clivages *égaux*, parallèles aux pans du prisme hexagonal, qui existent dans quelques échantillons, désignent le rhomboèdre comme forme primitive.

La composition de la chaux phosphatée cristallisée ou cristalline est très-remarquable, en ce que les analyses y accusent constamment environ 2 $\frac{1}{2}$ pour 100 de chlore et autant de fluor. Les variétés terreuses n'ont pas la même composition; elles sont considérées comme de simples résultats de décompositions organiques.

Les plus beaux cristaux de chaux phosphatée proviennent du cap de Gates; ils sont vert éclatant, transparents et empâtés dans un tuf trachytique. Ceux du Saint-Gothard tapissent les fissures d'une dolomie. Ceux de Suède et de Norwége sont en gros cristaux translucides ou opaques, soit en veines et nodules vitreux. A Krageroe, la chaux phosphatée cristalline forme des amas assez considérables dans une roche pyroxénique.

En dehors des cristaux et des masses cristallines, la chaux phosphatée existe encore à l'état terreux et impur. Les variétés

lithoïdes, autrefois négligées, ont été recherchées avec beaucoup de soin, depuis que la chaux phosphatée a été employée avec grand succès, soit pour la fabrication de certains émaux de poteries, soit pour l'amendement des terres.

On emploie pour l'amendement des terres des variétés terreuses, impures, contenant de 30 à 50 pour 100 de chaux phosphatée, qui se trouvent en nodules disséminés dans les argiles du grès vert et du gault, notamment dans le Boulonais, dans les Ardennes, dans la Meuse et la Champagne.

CHAUX TUNGSTATÉE.

Scheelin calcaire, $Ca W^3$.

Couleurs. — Blanc jaunâtre, brun, lithoïde.

Densité. — 6.

Dureté. — Raye le spath-fluor ; rayé par l'apatite.

Formes cristallines. — Octaèdres aigus à base carrée.

Clivages.—Difficiles cassure semi-vitreuse, éclat gras adamantin.

Attaquable par digestion dans l'acide azotique, avec résidu d'acide tungstique.

Le scheelin calcaire est une substance rare, qui se rencontre en cristaux, dans les gîtes d'étain de la Bohême et du Cornwall, et qui est toujours facilement reconnaissable à ses caractères de forme, d'éclat et de densité. On l'a trouvé en assez gros cristaux, empâtés dans certaines roches métamorphiques, notamment à Traverselle (val d'Aoste).

DOLOMIE.

$CaC^2 + MgC^2$.

Couleurs. — Blanc nacré; jaunâtre; translucide ou opaque.

Densité. — 2,85.

Dureté. — Raye le spath calcaire.

Clivages. — Trois clivages égaux, conduisant à un rhomboèdre de 106° ; cassure lamelleuse.

Formes cristallines. — Rhomboèdres presque toujours primitifs ou très-peu modifiés.

Attaquable par l'acide azotique, avec une effervescence lente et des bulles plus fines que le spath calcaire, ce qui lui avait fait donner le nom de chaux carbonatée *lente*.

Les différences précitées de dureté et d'effervescence, suffisent pour distinguer la dolomie cristallisée du spath calcaire; l'éclat nacré et la cristallisation la caractérisent également, car le spath calcaire présente très-rarement la forme primitive.

L'analyse des cristaux limpides de Traverselle a donné :

		OXYGÈNE.	RAPPORTS.
Chaux.................	30,40	8,40	1
Magnésie.............	22,40	8,60	1
Acide carbonique......	47,00	34,00	4

d'où la formule $CaC^2 + MgC^2$.

La dolomie cristallisée a, comme le spath calcaire, une tendance à se mélanger de carbonates isomorphes, surtout de fer carbonaté, qui, dans beaucoup de variétés, entre dans une proportion de 12 à 15 pour 100, sans que la coloration soit sensiblement altérée.

Ces variétés ferrugineuses sont en effet blanches, mais elles deviennent jaunes par une longue exposition à l'air ; on les distingue sous la dénomination d'*ankérites*.

Les dolomies cristallisées servent souvent de gangues aux minerais, dans les gîtes métallifères. La plupart des cristaux de collections viennent des mines de Traverselle en Piémont.

Aux environs de Tenès en Algérie, l'ankérite est la gangue dominante de nombreux filons cuprifères.

Comme roche, la dolomie a une très-grande importance, par la puissance et le développement des masses qu'elle constitue,

et en second lieu, par les circonstances toutes particulières de son gisement.

Ses variétés sont : saccharoïdes, grenues ou compactes.

A l'état saccharoïde, elle se distingue des marbres par les caractères de dureté, de densité et d'effervescence lente, qui permettent de reconnaître ses cristaux. Elle est quelquefois formée de grains cristallins à peine liés, de telle sorte que la roche se désagrége facilement ; telles sont, en grande partie, les dolomies cristallines qui se trouvent dans les Alpes, notamment autour du Saint-Gothard et du mont Blanc.

Ces dolomies, friables et cristallines, sont dans toutes les collections, parce qu'elles contiennent des minéraux cristallisés, tels que l'adulaire, l'albite, la tourmaline, l'amphibole trémolite, le talc, l'apatite, etc. ; on y trouve aussi des cristaux de blende et de réalgar.

L'état grenu semble encore une tendance cristalline ; tous les terrains dolomitiques renferment de ces masses qui se désagrégent facilement et qui sont même à l'état presque pulvérulent. Cette variété domine dans certaines parties des Alpes du Tyrol ; on la cite également dans les dolomies plus régulièrement stratifiées du Zechstein, où certaines couches sont désignées sous la dénomination de cendres (*asches*).

Les dolomies à structure cellulaire et caverneuse, comme celle des meulières, abondent dans les Alpes françaises où elles sont désignées sous le nom de *cargneules*. Ces roches, que leur structure rend faciles à couper, légères et prenant bien le mortier, sont souvent recherchées comme pierre de construction.

La dolomie compacte, est presque l'état normal de tous les calcaires du Lias, qui entourent le massif du mont Blanc et d'autres sommités des Alpes. Elle est en couches puissantes, très-fendillées, et l'on a souvent de la peine à distinguer ces dolomies, des calcaires, bien que la proportion de magnésie y dépasse souvent la quantité nécessaire pour constituer l'espèce et s'élève à 25 et 27 pour 100.

Il y a trente ans, M. de Buch, après avoir étudié les conditions du gisement des dolomies, toujours situées autour et au-dessus

des roches trappéennes du Tyrol, tandis qu'en s'éloignant, les roches des mêmes formations sont exclusivement calcaires; après avoir signalé la structure fendillée, désagrégée et presque cristalline de ces dolomies, et leur tendance à se charger des minéraux cristallins, émit la pensée que ces roches étaient des calcaires métamorphiques et qu'elles devaient leur transformation et leur magnésie aux actions souterraines qui avaient accompagné ou suivi les éruptions trappéennes.

On a opposé à cette théorie l'existence de dolomies régulièrement stratifiées et comprises dans des formations calcaires, en dehors de toute action métamorphique. Ce second mode de gisement ne peut être contesté, mais il n'exclut pas l'origine assignée par M. de Buch aux dolomies de montagne. Les observations faites sur les Alpes, et surtout autour du massif du mont Blanc et du Saint-Gothard, viennent à l'appui de l'hypothèse du métamorphisme.

Il existe d'ailleurs des passages fréquents entre les calcaires et les dolomies, établis par des calcaires qui contiennent seulement de 5 à 10 pour 100 de magnésie. Ces roches mixtes, fréquentes dans les formations du calcaire carbonifère ou du Zechstein, sont désignées sous la dénomination de *calcaires magnésiens.*

Les calcaires magnésiens donnent des chaux maigres, et ce caractère suffit pour les signaler dans les contrées où ils existent.

Comme pierre de construction, on utilise quelquefois les dolomies, notamment les cargneules des Alpes.

Les calcaires magnésiens sont aussi d'un bon usage, mais une expérience récente a démontré la nécessité de se défier de leur nature gélive. Pour la construction du palais du Parlement à Londres, on avait cru devoir donner la préférence à des calcaires magnésiens employés jadis pour la construction d'une abbaye très-bien conservée, mais parmi les bancs de la formation, les anciens en avaient seulement choisi quelques-uns; les autres d'une apparence identique étaient gélifs et ont donné lieu à des exfoliations regrettables.

MAGNÉSIE CARBONATÉE.

MgC^2.

Couleurs.— Blanc nacré ; jaunâtre, lorsqu'elle est ferrugineuse.

Densité. — 2,88.

Dureté. — Raye le spath calcaire ; rayée par le spath fluor.

Formes cristallines. — Rhomboèdre de 107°. La forme primitive est à peu près la seule.

Clivages.—Parallèles aux faces du rhomboèdre primitif. L'angle de 107 au lieu de 105 permet de distinguer ces cristaux de ceux de la chaux carbonatée.

La magnésie carbonatée peut être facilement confondue avec la dolomie. C'est une substance d'ailleurs fort rare à l'état de cristaux.

On désigne, sous le nom de *breunérite*, une variété jaunâtre, translucide, en cristaux rhomboédriques, qui provient des roches serpentineuses du Tyrol, et qui contient 10 à 15 pour 100 de carbonate de fer.

On trouve plus fréquemment la magnésie carbonatée à l'état terreux, en veines ou nodules dans les terrains serpentineux. C'est une roche blanche, légère, happant à la langue, qui est associée à la *magnésite*, ou magnésie silicatée. Elle s'en distingue facilement, parce qu'elle fait effervescence avec les acides.

MAGNÉSIE BORATÉE.

Boracite. $MgBo^4$.

Couleurs. — Blanc, blanc-grisâtre, translucide ou opaque.

Densité. — 2,97.

Dureté. — Rayé par le quartz ; raye le verre.

Sans *clivages ;* cassure inégale, semi-vitreuse et conchoïdale.

Formes cristallines.—Cube ; dodécaèdre rhomboïdal. Les cubes sont quelquefois modifiés par des facettes symétriques sur les arêtes, mais non symétriques sur les angles.

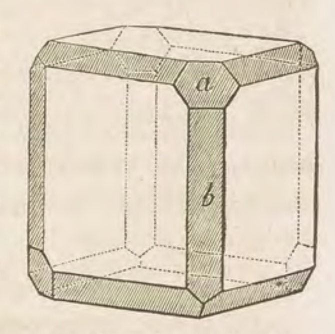


Fig. 118. — Magnésie boratée.

La magnésie boratée est une substance rare qui se trouve généralement en petits cristaux dans le gypse. Le gypse de Lunebourg fournit la plupart des cristaux qui sont recherchés à cause de leur défaut de symétrie.

La figure 118 indique la forme la plus répandue.

On voit que les facettes placées sur les angles n'existent que de deux en deux, et sur les sommets qui correspondent à un tétraèdre inscrit. C'est donc un cristal hémièdre par ses modifications.

BARYTE CARBONATÉE.

BaC^2.

Couleurs. — Blanc mat.

Densité. — 4,30.

Dureté. — Raye le spath calcaire ; rayée par le spath fluor.

Point de *clivages.*

Formes cristallines. — Prismes hexagonaux terminés par des pyramides à six pans ; dodécaèdres bipyramidés. Ces cristaux dérivent d'un prisme rhomboïdal de 118°.

Soluble dans l'acide azotique, avec une faible effervescence.

L'analyse des cristaux a donné

		OXYGÈNE.	RAPPORT.
Baryte	78	8,15	1
Acide carbonique.....	22	15,91	2

La baryte carbonatée cristallisée se trouve dans quelques gîtes métallifères ; ses formes cristallines pourraient la faire confondre avec le quartz, si son peu de dureté et sa très-grande densité ne la distinguaient pas immédiatement.

On la rencontre le plus souvent en rognons à cassure radiée. Quelquefois elle est compacte, et sa cassure a un aspect particulier, un peu gras et céroïde.

C'est une substance accidentelle qui provient principalement de quelques gîtes plombifères du Shropshire et du Cumberland; elle est vénéneuse et se vend en Angleterre sous la dénomination de *mort-aux-rats.*

BARYTE SULFATÉE.

BaS^3.

Couleurs. — Blanc limpide; jaunâtre ou jaune brun; bleuâtre; translucide ou opaque.

Densité. — 4,50.

Dureté. — Raye le spath calcaire ; rayée par le spath fluor.

Clivages. — Un clivage très-facile et deux autres un peu plus difficiles, conduisant à un prisme droit à base rhombe, sous l'angle de 101°.

Formes cristallines. — Prismes primitifs diversement modifiés sur les arêtes et sur les angles; prismes rectangulaires modifiés. Inattaquable aux acides; décrépite au chalumeau.

C'est sous forme de sulfate, que la baryte se trouve presque constamment; quelquefois avec une telle abondance, qu'elle peut être considérée comme roche.

La baryte sulfatée est une substance de filons, presque toujours à l'état cristallin, et caractérisée de la manière la plus spéciale par ses clivages et par sa grande pesanteur spécifique, qui l'a fait désigner sous la dénomination de *Spath pesant.*

Sa couleur normale est le blanc; lorsqu'elle est grise, jau-

nâtre ou brune, c'est qu'elle est mélangée de substances étrangères. Elle donne toujours une poussière blanche.

L'analyse des cristaux les plus purs conduit à la formule BaS^3.

		OXYGÈNE.	RAPPORT.
Baryte............	65,33	6,83	1
Acide sulfurique...	34,22	20,49	3

Souvent, même dans les variétés lamelleuses, il y a mélange de quelques centièmes de sulfates de chaux ou de strontiane, d'oxyde de fer ou de silice.

Les cristaux de baryte sulfatée peuvent se rapporter à trois types.

Le prisme rhomboïdal primitif, sous l'angle de 101°, quel-

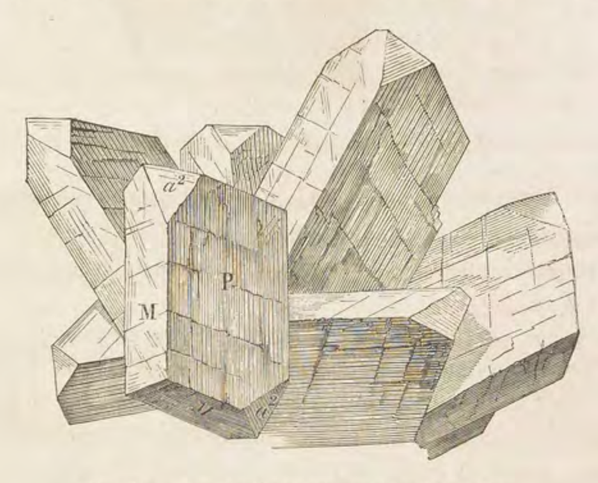


Fig. 119. — Baryte sulfatée; cristaux primitifs modifiés.

quefois simple, le plus souvent modifié sur les angles A ou E. Ces cristaux représentés figure 119, portent ordinairement des stries qui indiquent les clivages parallèles aux faces du prisme M, M, P.

Lorsque les modifications, produites simultanément sur les angles A et E, arrivent à supprimer les faces M du prisme, les

cristaux prennent la forme du prisme rectangulaire (*fig.* 120). Cette forme dominante est biselée à la fois sur les deux systèmes d'arêtes, ce qui tend à donner à quelques variétés l'aspect de

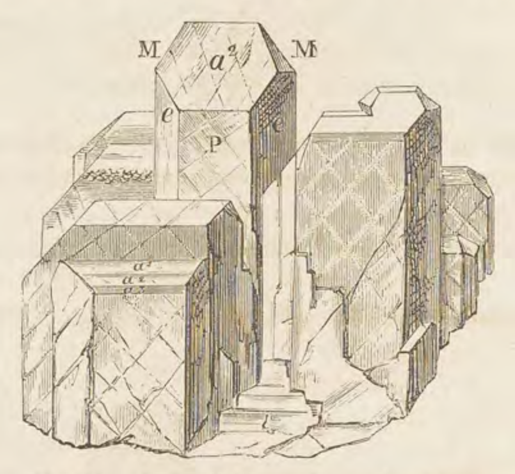


Fig. 120. — Baryte sulfatée en prismes rectangulaires.

prismes à six pans à sommets biselés. L'apparence des sommets, formés par les facettes a^2, ordinairement très-dilatées, se complique dans beaucoup de cristaux par les biseaux supplémentaires a, a^3, etc.

La figure 120 représente plusieurs apparences de cette forme, sur laquelle on distingue encore les faces primitives M, M, à peine indiquées par de petites facettes placées sur les angles du prisme rectangulaire. Les stries marquées sur les larges faces de la base, signalent dans l'intérieur du cristal l'existence des clivages parallèles aux faces M, M. Quant au clivage facile, il est en quelque sorte signalé par la dilatation des faces P.

La troisième forme cristalline est représentée par la figure 121. Ce sont presque des octaèdres cunéiformes, produits par la dilatation dominante des facettes a^2, combinées avec les faces M, M. La base P est souvent indiquée sur l'arête de ces cristaux.

La baryte sulfatée se rencontre surtout à l'état lamelleux et cristallin. Les clivages et la pesanteur spécifique, sont des carac-

tères suffisants pour la distinguer de toutes les autres substances de filons auxquelles elle peut se trouver associée.



Fig. 121. — Baryte sulfatée.

Il se fait un commerce considérable de baryte sulfatée en poudre, et cependant ses usages sont à peine connus. Le principal est pour les peintures extérieures; on le mélange à la céruse et au blanc de zinc, dont elle n'a cependant pas les qualités. On en introduit aussi dans la fabrication du papier, lorsqu'on veut le rendre pesant.

Sous le point de vue des études géologiques, la baryte sulfatée présente un grand intérêt, parce qu'elle accompagne très-souvent les gîtes plombifères. Les filons de cuivre gris de Mouzaia ont aussi la baryte sulfatée pour gangue normale. Quelquefois cette gangue constitue, seule, des filons stériles.

Lorsque la baryte sulfatée est mélangée aux minerais qui ont une faible densité, comme le cuivre gris, le cuivre pyriteux ou la blende, le peu de différence des pesanteurs spécifiques rend la séparation difficile, par les procédés ordinaires de la préparation mécanique. On s'est servi dans plusieurs cas de sa propriété de décrépiter pour la réduire à l'état pulvérulent, tandis que les minerais qui ne décrépitent pas, restent en gros grains, que l'on sépare au moyen d'un tamisage.

La baryte sulfatée est rare à l'état grenu ou compacte. On l'a trouvée dans quelques gîtes, en stalactites à zones concentriques, qui semblaient indiquer un dépôt abandonné par les eaux. Les stalactites des environs de Liége, et celles de Matlock en Angleterre, dans lesquelles l'oxyde de fer détermine des zones diversement nuancées, ont été quelquefois sciées en plaques et employées dans l'ornement.

STRONTIANE CARBONATÉE.

SrC^2.

Couleurs. — Blanc limpide ou opaque; blanc-jaunâtre, vert-pomme.

Densité. — 3,60.

Dureté. — Entre celle du spath calcaire et celle du spath fluor.

Point de *clivages ;* cassure souvent fibreuse et radiée.

Formes cristallines. — Prismes allongés, dérivés d'un prisme rhomboïdal droit de 117°.

Soluble avec une faible effervescence dans l'acide azotique. Au chalumeau, donne une flamme rouge, caractéristique de la strontiane.

La strontiane carbonatée a été trouvée en nodules fibreux et en aiguilles cristallines d'un vert clair, parmi les gangues métallifères au cap Strontian en Écosse. C'était une substance assez rare jusqu'à ces dernières années où des blocs radiés avec géodes cristallines, ont été trouvés en grande quantité à Hamm en Westphalie.

STRONTIANE SULFATÉE.

SrS^3.

Couleurs.—Blanc limpide ; blanc mat; bleu céleste, translucide.

Densité. — 3,9.

Dureté. — Entre celle du spath calcaire et celle du spath fluor.

Clivages.— Trois clivages inégaux conduisant à un prisme droit rhomboïdal de 104°. Cassure lamelleuse.

Formes cristallines. — Prismes primitifs modifiés; prismes rectangulaires biselés.

Insoluble dans les acides ; décrépite au chalumeau.

La composition : 56 de strontiane et 44 d'acide sulfurique, conduit à la formule SrS^3. Souvent, il y a mélange d'une petite proportion de sulfate de baryte.

Les cristaux blancs, prismés, de Sicile, et les cristaux bleus, translucides, de Hongrie, se trouvent dans toutes les collections; cependant la strontiane sulfatée cristallisée ou cristalline doit être considérée comme assez rare.

La variété compacte et impure est, au contraire, une substance commune. On la trouve notamment dans certaines marnes gypseuses des environs de Paris, en nodules compactes ou grenus, verdâtres comme l'argile qui les contient, mais distincts par leur grande pesanteur.

SEL GEMME.

$NaCl^2$.

Couleurs. — Blanc limpide ou laiteux; souvent coloré en gris ou en rouge; accidentellement en bleu.

Densité. — 2,25.

Dureté. — Raye le gypse.

Trois *clivages* égaux et rectangulaires conduisant au cube. Cassure lamelleuse.

Formes cristallines. — Le cube.

Soluble dans trois fois son poids d'eau; saveur salée caractéristique.

Le sel gemme est le chlorure de sodium, contenant 39,66 de sodium et 60,34 de chlore : $NaCl^2$.

Il constitue des masses considérables dont la pureté est très-variable; le plus souvent, le sel gemme est coloré en gris par un mélange d'argile, ou bien en rouge par l'oxyde de fer. Plus il est impur, plus il perd ses clivages et devient grenu ou compacte. Un sel gemme encore cristallisé et clivable, a donné à l'analyse :

Chlorure de sodium............	90,30
Chaux sulfatée.................	5,00
Soude sulfatée.................	2,00
Peroxyde de fer................	1,00
Matières bitumineuses..........	0,50

Souvent aussi, il contient quelques centièmes de chlorure de magnésium; mais l'on n'y trouve en général, ni sels de potasse, ni brome, ni iode.

Les gîtes souterrains de sel, sont presque toujours signalés à l'extérieur, par des sources salées. Les eaux qui ont circulé dans les terrains salifères se chargent en effet de sel, non-seulement au contact des masses de sel gemme, mais en parcourant les argiles qui accompagnent presque toujours ces masses. Ces argiles sont en effet mélangées de sel, qui s'isole dans les fissures; en efflorescences, en rognons, en petites veines et en plaquettes fibreuses.

Lorsque le sel est blanc, clivable et cristallin, à lames entrecroisées, il peut être exploité et livré directement à la consommation, lors même qu'il a une teinte grise ou rougeâtre. Le plus souvent, il doit être purifié, c'est-à-dire dissous et repris par évaporation; d'où sont venus les divers procédés d'exploitation par dissolution.

En France, le sel se trouve surtout dans les marnes irisées de l'Est; il y est stratifié et l'on connaît depuis Dieuze jusqu'à Vic, c'est-à-dire sur 20 kilomètres de longueur, douze couches qui représentent ensemble plus de 70 mètres d'épaisseur de sel. Des masses moins étendues mais aussi puissantes se trouvent dans la même formation, sur toute la ligne qui conduit vers

Salins; à Montmorot des sondages ont traversé 30 mètres de sel gemme, sans trouver le mur du gîte.

A Wieliczka, près de Cracovie, on exploite, dans les terrains supra-crétacés, des amas qui ont quelquefois plus de 100 mètres. A Nortwich, près de Liverpool, deux couches enclavées dans le grès bigarré, ont l'une 25 et l'autre 40 mètres d'épaisseur.

Le sel gemme se trouve aussi dans les terrains tertiaires du midi de la France, de telle sorte que son gisement embrasse la série des terrains secondaires depuis le commencement de la période Permienne, jusque dans les terrains tertiaires supérieurs.

A l'époque actuelle, beaucoup de lacs salés, dont les eaux s'élèvent dans la saison des pluies et s'abaissent dans celle des sécheresses, laissent le sel cristallin déposé sur leurs bords, et sont encore de véritables mines de sel.

La masse des eaux qui couvre près des trois quarts du globe, contient elle-même au moins 3 pour 100 de sels étrangers, parmi lesquels le chlorure de sodium figure pour 2,70. Ces eaux peuvent donc servir aussi à la fabrication du sel, et malgré l'abondance du sel gemme, la masse principale du sel livré au commerce provient de l'exploitation des marais salants.

L'origine du sel gemme le confond d'ailleurs avec le sel de la mer; l'évaporation spontanée des lacs salés, représente, en quelque sorte, les phénomènes qui ont pu intercaler les couches de sel dans les dépôts stratifiés.

Les mers fermées par des détroits, lorsqu'elles reçoivent des fleuves, moins d'eau qu'elles n'en perdent par évaporation, présentent déjà un degré de salure plus sensible que celui de l'Océan, bien que des contre-courants sous-marins y déversent toujours les eaux trop chargées de sels, tandis que les courants superficiels y amènent la lame d'eau nécessaire pour maintenir le niveau. La mer Rouge a été citée comme un exemple de ces deux courants compensateurs. Si l'on supposait fermé, le détroit de Bab-el-Mandeb par lequel s'effectuent les deux courants inverses, les eaux chauffées et évaporées par l'action incessante des vents alizés, baisseraient rapidement de niveau. On a calculé

que trente à quarante siècles suffiraient pour dessécher complétement la mer Rouge en ne laissant à sa place qu'un immense banc de sel. Que l'on suppose cette évaporation plusieurs fois reprise, et interrompue par des irruptions de la mer, substituant des dépôts sédimentaires aux dépôts de sel déjà formés ; on obtiendrait des alternances de sel et de dépôts marneux, dans des conditions tout à fait semblables à celles des gîtes de nos départements de l'Est.

Les couches de sel gemme de Vic et de Dieuze représentent, en effet, un dépôt régulier des sels de la mer, dépôt qui a été interrompu, alors que les eaux mères étaient encore chargées de tous les sels déliquescents. Les eaux de la mer contiennent, et ont dû contenir de tout temps, des sels de magnésie et de potasse, qui souvent restent dans les eaux mères de nos salines ; toutes les fois que les bancs de sel gemme ne contiennent pas de sels déliquescents, c'est que l'évaporation n'a pas été complète.

Le fait de cette évaporation complète paraît en effet, avoir été très-rare, mais il a eu lieu quelquefois ; les produits en ont été trouvés récemment aux salines de Stassfurt, au sud de Magdebourg.

Ce gîte de sel est ancien ; il paraît compris dans des roches permiennes et recouvert par les grès bigarrés. On l'a trouvé en couches inclinées à une profondeur d'environ 300 mètres. Au-dessus du sel gemme, que la sonde a reconnu sur plus de 30 mètres de puissance, ont été trouvés, alternant avec des roches argileuses rouges, les sels déliquescents des eaux mères.

Au toit du sel gemme, est une couche de chlorure de magnésium. Au-dessus des argiles qui recouvrent cette couche, se trouve un autre sel complexe, auquel on a donné le nom de *carnallite*. Sa composition est :

Chlorure de potassium..........	30,51
— de magnésium.........	24,27
Eau..........................	36,14
Sels divers et peroxyde de fer....	8,96

Les argiles qui contiennent ce sel, renferment des nodules de

boracite terreuse, des veines de sulfate de magnésie, des gypses, etc. A Stassfurt, on a délaissé le sel gemme pour s'occuper exclusivement des sels de potasse, qui présentent bien plus d'intérêt; des fabriques nombreuses les utilisent principalement pour la fabrication des salpêtres.

Parmi les sels mixtes qui accompagnent le sel, se trouvent, dans beaucoup de localités, des rognons cristallins et veines de *polyalite*. Cette substance, ordinairement rouge et fibreuse, est un sulfate quadruple, de chaux, de potasse, de soude et de magnésie, mélangé de chlorures.

Quelques-uns de nos gîtes de sel aux environs des Salins, contiennent des sels de potasse et même du brôme.

Sur beaucoup de points, le dépôt des terrains salifères a été troublé par des soulèvements et par des éruptions de roches trappéennes. De là des enchevêtrements, des perturbations dans le gisement, et même dans la nature des roches, qui ont fait penser que le sel gemme et le gypse pouvaient, dans certains cas, avoir des relations de gisement avec les phénomènes de soulèvement et d'éruption.

Les dépôts de sel gemme sont toujours accompagnés de gypse en couches, en veines, en amas lenticulaires, en rognons botryoïdes, stratifiés dans les marnes.

Le sel gemme, partout où il existe, est exploité soit directement, soit par dissolution, soit enfin par les sources salées naturelles qui l'accompagnent presque toujours. Ces exploitations ont de la peine à lutter avec les marais salants qui, en France, produisent cinq fois plus. Ainsi, tandis que les exploitations de la Meurthe, du Jura et de la Haute-Saône ne fournissent qu'environ 100,000 tonnes de sel, les marais salants, situés principalement sur le littoral de l'Ouest et du Midi, produisent environ 500,000 tonnes.

C'est que les eaux de la mer constituent une véritable mine de sel. La densité de ces eaux est de 1,025, et leur titre moyen en chlorure de sodium est de 0,027. Lorsque la disposition des côtes et le climat sont favorables, on peut obtenir le sel par

l'évaporation naturelle de ces eaux, à des prix inférieurs à ceux d'une exploitation directe.

Un mètre cube d'eau de mer, pesant 1 025 kilogr., est composé ainsi qu'il suit, dans la Méditerranée, qui est un peu plus riche en sel que l'Océan :

Chlorure de sodium........	30,182	38,626
— de potassium......	0,518	
— de magnésium....	3,392	
Sulfate de chaux...........	1,392	
— de magnésie........	2,541	
Carbonate de chaux........	0,570	
Bromure de sodium........	0,570	
Oxyde de fer et argile.......	0,003	
Eau...............................		987,174
		1 025,800

Les eaux de l'Océan ont une composition à peu près identique, mais ne contiennent que 27 millièmes de chlorure de sodium.

Sulfate de soude. — Ce sel est obtenu dans quelques localités, comme les autres sels de soude, par l'évaporation spontanée des eaux de certains lacs ; mais les quantités ainsi produites sont insignifiantes. Sur plusieurs points, et surtout dans les terrains gypseux de la vallée de l'Èbre, aux environs de Lodosa, on a trouvé des couches de sulfate de soude pur et cristallin. Une de ces couches atteint une puissance de 5 à 6 mètres.

Le sulfate de soude, lorsqu'on l'extrait des mines, est blanc et translucide, c'est le sulfate des laboratoires ($NaS^3 + 10Aq$) ; mais, lorsqu'il reste exposé à l'air, il s'effleurit rapidement, devient blanc, opaque et pulvérulent, en perdant la plus grande partie de son eau.

Les gîtes de Lodosa sont exploités, et des fabriques assez importantes ont été établies près des mines, pour en utiliser les produits.

Le sulfate de soude est également extrait des eaux mères des salines du Midi, par le procédé Balard.

La **glaubérite** ($NaS^3 + CaS^3$) se trouve en beaux cristaux dans les roches gypseuses qui encaissent le sulfate de soude à Lodosa. Ces cristaux limpides, qui se conservent assez bien à l'air, sont des prismes rhomboïdaux obliques.

Nitrate de soude. — Ce sel nous arrive du Pérou, sous forme d'un sel blanc grisâtre, très-cristallin, d'une saveur âcre et fraîche.

Sa pesanteur spécifique est 2,75 ; il est identique à l'azotate de soude des laboratoires. Projeté sur des charbons ardents, il fuse et serait propre à la fabrication de la poudre, si la facilité avec laquelle il absorbe l'humidité de l'air ne rendait cette poudre d'une conservation impossible.

Les nitrates sont recueillis principalement aux environs d'Arica et d'Iquique, sur les côtes du Pérou et de la Bolivie. Le sol sablonneux, couvert d'efflorescences et de croûtes salées, constitue de véritables déserts, sur lesquels il pousse à peine quelques lichens. C'est le lavage de ces terres et l'évaporation spontanée des eaux de quelques lacs, qui fournissent les nitrates dont l'exportation est évaluée à 50,000 tonnes, au prix moyen de 250 francs la tonne.

Ces nitrates sont employés pour la fabrication du nitrate de potasse ou salpêtre, pour celle de l'acide azotique, et même pour la préparation de certains engrais artificiels.

Les cristaux rarement déterminables, sont des prismes rhomboïdaux obliques, blanc limpide ou laiteux ; ils se conservent assez bien à l'air.

Le **borax** ($Na Bo^6 + 10 Aq$), le **natron** ($NaC^2 + 10 Aq$) sont des sels qui existent à l'état de dissolution dans les eaux de certains lacs. On les en extrait par évaporation spontanée, et l'on en faisait autrefois un commerce assez actif. C'est ainsi que le *borax* arrivait de l'Inde, et le *natron* de Hongrie, d'Afrique ou d'Amérique. Ce commerce est presque nul, depuis que les moyens de fabrication artificielle ont rangé ces deux sels parmi les produits chimiques les plus importants.

CRYOLITE.

$2AlFl^3 + 3NaFl^2$.

Couleurs. — Blanc laiteux; des lames très-minces sont translucides; éclat semi-vitreux.

Densité. — 2,95.

Dureté. — Celle du spath calcaire.

Point de *formes cristallines*, mais trois *clivages* à peu près égaux, à surfaces inégales, qui conduisent probablement à un prisme droit rectangulaire.

Fusible au simple contact de la flamme d'une bougie, ce qui lui a fait donner le nom de *pierre de glace*.

La cryolite forme de petits filons, dans des roches granitiques, aux environs d'Ivikaet, sur la côte du Groenland.

On exploite ces gîtes de cryolite et l'on expédie les produits en Europe où ils sont employés à la fabrication de l'aluminium, soit pour la transformation en sulfate d'alumine et en carbonate de soude. En 1861, il a ainsi été expédié des côtes du Groenland trente navires chargés de cryolite, et cette substance, qui était autrefois une rareté minéralogique, s'obtient aujourd'hui à assez bas prix.

On a trouvé dans la cryolite diverses substances métallifères, notamment de la galène, du wolfram, de la tantalite, et de la niobite en cristaux. Ces filons sont donc de véritables veines métallifères, dans lesquels la cryolite sert de gangue.

La cryolite commune est en général jaunie par un peu d'oxyde de fer, mais elle reste toujours caractérisée par ses trois clivages et par sa fusibilité exceptionnelle.

CORINDON.

Al.

Couleurs.— Blanc limpide mélangé de bleu ; bleu saphir; rouge

rubis; jaune; pour les variétés translucides. Gris ou brun pour les variétés opaques.

Densité. — 4.

Dureté. — Rayé par le diamant ; raye tous les autres minéraux.

Formes cristallines. — Prismes hexagonaux basés ou pyramidés, dérivant d'un rhomboèdre aigu de 86°.

Point de *clivages* dans les variétés transparentes ou translucides.

Les variétés opaques, dites corindons lamelleux ou *harmophanes*, ont des clivages parallèles aux faces du rhomboèdre primitif.

Infusible au chalumeau. Inattaquable par les acides.

Les corindons transparents et translucides se trouvent soit en grains roulés, soit en cristaux. Les formes des cristaux se rapportent à des prismes hexagonaux portant souvent des pyramides ou des modifications qui attestent leur dérivation du rhomboèdre. Les figures 122 sont dessinées d'après des cristaux naturels dont l'échelle a été doublée.

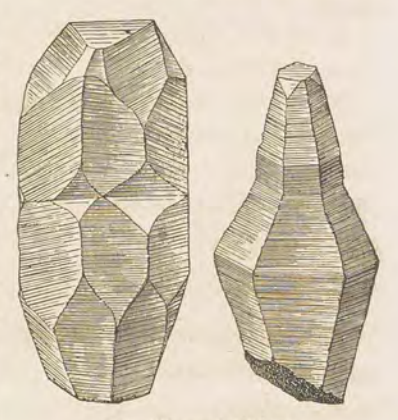


Fig. 122. — Coriudons.

Ces cristaux portent souvent des stries, dues aux reprises successives des faces du prisme, du rhomboèdre ou des pyramides.

Les variétés bleu-*saphir* et rouge-*rubis* sont excessivement recherchées pour la joaillerie : leur valeur, lorsque les couleurs sont belles, atteint et dépasse même celle du diamant. Ces variétés viennent de l'Inde et de Ceylan. Quelques échantillons de rubis fixés sur des micaschistes, paraissent démontrer qu'ils proviennent de roches métamorphiques anciennes. Les saphirs se rattachent plutôt aux roches volcaniques.

Le corindon jaune, dit *topaze d'Orient,* a peu de valeur comparativement au rubis et au saphir.

On attribue à des oxydes de fer ces diverses colorations du corindon, qui se trouve aussi à l'état de roche, mélangé de 10 à 15 pour 100 d'oxydule de fer.

Ces roches grenues et opaques sont exploitées comme *émeri.*

L'émeri en roche s'exploite surtout dans l'île de Naxos, où il est en veines dans les roches anciennes. Celui de Ceylan vient en Europe sous forme de cailloux roulés.

L'émeri a une valeur très-variable, suivant sa richesse plus ou moins grande en corindon, d'où résulte une dureté plus ou moins grande. On doit l'acheter en roches pour ne pas être trompé par les mélanges de fer oxydulé, que l'on introduit dans l'émeri réduit en poudre, et rechercher surtout, les variétés qui, cassées en éclats minces, sont translucides et bleuâtres sur les bords.

SPINELLES.

$(MgFe)Al^3$.

Couleurs.— Rouge translucide ; rouge foncé ; vert opaque ; noir.

Densité. — 3,50.

Dureté. — Rayé par le corindon ; raye le quartz.

Formes cristallines. — L'octaèdre régulier, rarement modifié, souvent hémitrope.

Point de *clivages ;* cassure vitreuse, dans les variétés, translucide, inégale et semi-vitreuse dans les variétés opaques.

Infusible au chalumeau. Inattaquable par les acides.

Les spinelles sont considérés comme des aluminates de magnésie et de fer ; ils sont toujours cristallisés. Les variétés magnésiennes rouges et vitreuses, sont employées en joaillerie sous la dénomination de *rubis-balais.*

Ces variétés sont rares, mais les spinelles noirs et opaques sont

assez communs. Les plus beaux cristaux viennent de New-Jersey, et d'Amity dans l'Amérique du Nord.

On trouve des octaèdres plus petits, mais très-nets et quelquefois modifiés, dans les roches de la Somma au Vésuve.

Les spinelles, quelle que soit leur coloration, sont en octaèdres simples, soit en octaèdres hémitropes ou plutôt transposés, puisque les deux parties accolées peuvent être considérées comme appartenant à un même octaèdre, la partie *ab* étant supposée avoir fait un sixième de tour, ainsi que l'indique la figure 123

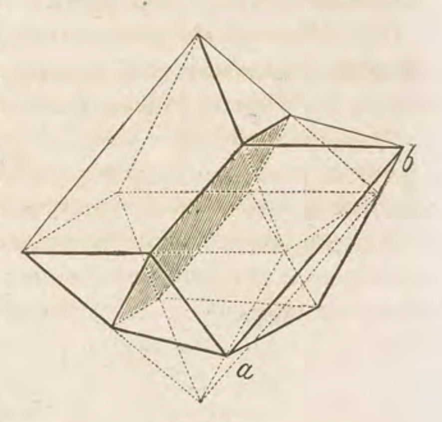


Fig. 123.

La **cymophane** est également un aluminate de glucine et de fer $(Gl.Fe)Al^3$. C'est une gemme d'un blanc jaunâtre, laiteux, translucide, souvent verdâtre, qui raye le quartz et cristallise en prismes droits rhomboïdaux. Cette substance vient du Brésil en petits cristaux roulés translucides.

On l'a trouvée en Sibérie, en gros cristaux verts et opaques. Ces cristaux ont la forme d'un dodécaèdre bipyramidé, tronqué sur ses deux sommets, de manière à présenter de larges bases hexagonales; ils résultent du groupement de six cristaux autour d'un axe commun.

ALUNITES.

$$KS^3 + 9AlS^3 + 6Aq.$$

On a donné le nom d'*alunite*, à des roches qui ont la propriété de fournir directement de l'alun.

Pour cette fabrication, on calcine d'abord l'alunite, puis on

l'étend sur une aire et on la laisse effleurir en l'arrosant. On procède ensuite au broyage et à des lessivages à chaud, qui enlèvent l'alun que l'on fait cristalliser par évaporation.

Cette propriété est la meilleure définition qu'on puisse donner des alunites, qui sont, généralement, des roches métamorphiques de composition peu déterminée.

On exploite des alunites à la Tolfa dans les États romains, à Montioni en Toscane, et en Hongrie; on en a trouvé en France parmi les roches trachytiques du Mont Dore.

Dans les alunites de la Tolfa, il existe des géodes cristallines, tapissées de petits rhomboèdres sous l'angle de 92°; et l'on a supposé que ces cristaux étaient le type de l'espèce.

La composition de ces cristaux est :

Alumine	39,65
Potasse	10,00
Acide sulfurique	35,49
Eau	14,80

Les alunites ou plutôt les roches alunifères de la Toscane, sont généralement des argiles schisteuses et métamorphiques. L'alunite du Mont Dore, comme celle de Hongrie, est un tuf trachytique pénétrée de soufre, et par conséquent, modifié par des émanations volcaniques.

Il ne faut pas confondre ces alunites avec certains schistes argileux, pénétrés de pyrite de fer et devenant propres à la fabrication de l'alun par la mise en présence, d'un silicate d'alumine hydraté avec du sulfure de fer.

ALUMINE PHOSPHATÉE.

Sous cette dénomination générale, nous comprenons plusieurs espèces, toutes accidentelles et rares, mais offrant de l'intérêt par leurs propriétés minéralogiques. La composition de ces divers phosphates n'est pas encore bien établie, à cause du peu de concordance des analyses.

La **wavellite**, phosphate d'alumine hydraté, est l'espèce la plus répandue, en concrétions radiées, stalactiformes, blanches, jaunâtres ou verdâtres.

Sa pesanteur spécifique est 2,35; sa dureté est celle du spath calcaire. La wavellite contient 26 à 28 pour 100 d'eau, caractère facile à constater au chalumeau.

La **klaprothite**, phosphate double d'alumine et de magnésie, est caractérisée par sa couleur bleu foncé, par sa pesanteur égale à 3, par sa dureté un peu supérieure à celle du verre, et souvent, par sa cristallisation en prismes droits rhomboïdaux sous l'angle de 91°. Les échantillons en veines amorphes et d'un beau bleu, proviennent de Salzbourg; on en a trouvé récemment parmi les roches feldspathiques de Zermatt et du Mont Rose.

Des cristaux prismatiques et octaèdres, très-nets, ont été signalés dans l'itacolamite du Brésil.

La **turquoise** est le plus rare des phosphates d'alumine, mais le plus connu, à cause de ses belles teintes bleu clair et de son emploi en joaillerie.

C'est un phosphate d'alumine hydraté, contenant de petites proportions d'oxydes de fer et de manganèse, de chaux et d'oxyde de cuivre auquel on attribue sa coloration.

Cette substance existe en Perse, en petits rognons compactes, disséminés dans une argile. Elle est tantôt d'un bleu clair et pur, c'est la plus estimée; tantôt bleu verdâtre. Sa dureté est un peu supérieure à celle de la chaux phosphatée; sa pesanteur spécifique est 2,85.

La turquoise, n'étant pas très-dure, est souvent falsifiée dans le commerce.

SILICATES

La silice joue le rôle d'acide dans des minéraux nombreux, parmi lesquels il en est quelques-uns qui sont principes constituants de roches éruptives ou métamorphiques.

Les silicates ne peuvent être classés d'après les bases, car non-seulement ces bases sont multiples, mais les substitutions isomorphiques en modifient souvent la composition, sans que les caractères extérieurs puissent signaler d'une manière certaine ces substitutions.

Les silicates doivent donc, ainsi que nous l'avons dit précédemment, être considérés comme formant une famille spéciale, et être décrits séparément.

En isolant ainsi les silicates, on obtient un autre avantage, celui de pouvoir suivre les groupements, indiqués à la fois par les caractères physiques et par la composition, et qui très-souvent, se trouvent aussi confirmés par les conditions de gisement des espèces minérales.

On peut d'abord diviser les silicates en deux grandes classes :

1° Les silicates qui ont pour base l'alumine et les autres bases terreuses : on les désigne sous le nom de silicates **alumineux ;**

2° Les silicates que nous appellerons **trappéens,** dont les bases sont la magnésie, la chaux et le protoxyde de fer.

Ces deux classes, les *silicates alumineux* et les *silicates trappéens*, se trouvent dans des conditions de gisement généralement distinctes ; ils ont chacun un rôle géologique différent. L'importance de cette distinction, résulte de ce que les espèces principales des deux classes, sont les éléments constituants de roches éruptives qui appartiennent à des époques géologiques différentes.

SILICATES ALUMINEUX.

La série des silicates alumineux est nombreuse et complexe, et, pour en faciliter l'étude, il est nécessaire de la subdiviser en plusieurs *groupes*, d'espèces qui présentent des analogies de composition, de caractères minéralogiques ou de gisement.

En groupant ainsi les silicates, on reconnaît d'ailleurs que la complication des espèces n'est qu'apparente ; elle résulte surtout de la nomenclature et de la multiplicité des dénominations appliquées à des variétés qui souvent se confondent.

Les silicates alumineux peuvent être divisés en cinq groupes distincts.

1° Les *silicates d'alumine*, groupe dans lequel nous comprenons les silicates simples et ceux qui ne contiennent que de faibles proportions de quelques autres bases (oxyde de fer, potasse, magnésie), de telle sorte que l'alumine reste la base essentielle et caractéristique.

SILICATES D'ALUMINE....	Disthène...........	Al^3Si^2
	Andalousite.........	$(AlFe)^3Si^2$
	Staurotide..........	$(AlFe)^2Si$
	Pinite..............	$3AlSi^2 + (KMgfe)Si$
	Argiles.............	

2° Les *micas* et *chlorites*, substances à bases multiples, diversement colorées, caractérisées par une structure lamelleuse et foliacée, disséminées en paillettes brillantes dans un grand nombre de roches éruptives et métamorphiques. Ce sont :

MICAS ET CHLORITES.	Micas..............	$(Al\,FeMgK)\,SiFl$
	Lépidolites.........	$(AlFeKLi)SiFl$
	Chlorites...........	$(AlMgFe)Si + Aq$
	Pennine............	$3Al^2Si + MgSi + 10Aq$
	Glauconie..........	

3° Les *feldspaths*, silicates à bases d'alumine et d'alcalis (po-

tasse, soude et chaux), comprenant les feldspaths proprement dits, substances dures et lamelleuses qui servent de base à des roches nombreuses ; plus, divers silicates de composition analogue, mais différents par leurs caractères cristallins. Ce groupe important comprend les espèces suivantes :

FELDSPATHS...	Orthose............	$3AlSi^3 + (KNa)Si^3$
	Albite.............	$3AlSi^3 + (NaK)Si^3$
	Oligoclase..........	$3AlSi^2 + (NaKCa)Si^3$
	Labradorite........	$3AlSi + (CaNa)Si^3$
	Anorthite...........	$3AlSi + CaSi$
	Triphane...........	$3AlSi^2 + LiSi^3$
	Amphigène.........	$3AlSi^2 + KSi^2$
	Néphéline..........	$3AlSi + NaSi$
	Wernérite..........	$3AlSi + (CaK)Si$

4° Les *gemmes*, silicates alumineux de composition plus complexe, forment un groupe de cristaux vitreux, transparents ou translucides, de couleurs vives et caractéristiques, et d'une dureté généralement supérieure à celle du quartz. Ces substances, par suite de leur coloration et de leur dureté, sont souvent employées en joaillerie.

GEMMES.....	Émeraude..........	$AlSi^3 + GlSi^2$
	Topaze.............	$3AlSi + Al^2Fl$
	Grenats............	$(AlFe)Si + (Cafemn)Si$
	Épidote............	$2AlSi + (Cafe)Si$
	Cordiérite..........	$3AlSi + (Mgfe)Si$
	Tourmalines........	$(AlFeCaMgKLi)SiBoFl$
	Prehnite...........	$3(AlFe)Si + Ca^2Si^3 + Aq$
	Lapis. Haüyne......	$(AlCa)Si + NaS$
	Axinite.............	$3(AlFe)^2Si^3 + (CaKMg)^2Bo$

5° Les *zéolites*, groupe nombreux de silicates hydratés, forment une série d'espèces caractérisées par leurs formes cristallines variées, par leurs couleurs claires et leur peu de dureté.

ZÉOLITES	Mésotypes	$3AlSi + (NaCa)Si^3 + 2Aq$
	Stilbites	$3AlSi^3 + CaSi^3 + 6Aq$
	Heulandite	$3AlSi^3 + (CaNaK)Si^3 + 5Aq$
	Laumonite	$3AlSi^2 + CaSi^2 + 4Aq$
	Chabasie	$3AlSi^2 + (CaKNa)Si^3 + 6Aq$
	Analcime	$3AlSi^2 + NaSi^2 + 2Aq$
	Harmotôme	$3AqlSi^3 + BaSi^3 + 6Aq$

GROUPE DES SILICATES D'ALUMINE.

Ce premier groupe contient des substances très-diverses, parce que la prédominance de l'alumine sur toutes les autres bases ne suffit pas pour donner aux caractères minéralogiques une complète uniformité. Il y a lieu, au contraire, de remarquer dans ce groupe, combien de faibles proportions d'oxyde de fer, de chaux ou de magnésie, transforment les caractères, lorsque ces proportions sont à l'état de combinaison et non pas à l'état de mélange.

L'étude de ce premier groupe fera ressortir un fait remarquable dans les silicates, c'est l'incertitude fréquente des analyses. Il est en effet bien difficile, lorsqu'on trouve seulement quelques centièmes d'une base, de dire si elle se trouve là, à l'état de mélange ou de combinaison.

C'est pour cela que les caractères cristallographiques ont ici, plus que dans toute autre classe de minéraux, une importance décisive pour constituer et déterminer l'espèce.

Les silicates d'alumine, autres que les argiles, n'existent pas en effet à l'état compacte, ou du moins ne sont plus reconnaissables. Si on les analysait, on leur donnerait simplement le nom d'argiles anhydres, endurcies. C'est la cristallisation seule, qui met en évidence les espèces, car les nombreuses analyses, qui ont été faites, peuvent à peine fixer sur les proportions de chaque élément. La substitution isomorphique du peroxyde de fer à une partie de l'alumine; la présence, dans la plupart des espèces, de petites proportions de magnésie, chaux ou potasse, laissent le plus souvent dans l'incertitude pour établir une formule. On en

jugera par les analyses suivantes qui résument la composition des principaux silicates d'alumine cristallisés.

	DISTHÈNE.	ANDALOUSITE.	STAUROTIDE.	PINITE.
Si............	37,0	35,0	28,5	56,0
Al............	62,0	56,0	53,0	24,0
Fe............	1,0	3,0	17,0	5,8
K.............	»	2,0	»	8,0
Mn...........	»	0,7	0,5	1,5
Ca et *Mg*.....	»	2,3	1,0	3,7
Eau...........	»	1,0	»	»

Si l'on considère d'une part, que l'alumine et le peroxyde de fer sont isomorphes, et que d'autre part, les bases annexées à l'alumine, dans l'andalousite et dans la pinite, sont en quantité faible et variable, on voit que la distinction des espèces repose presque entièrement sur les différences cristallographiques.

DISTHÈNE.

Al^3Si^2.

Couleurs. — Bleu clair, semi-vitreux, ordinairement translucide ; bleu veiné de jaunâtre ou de rougeâtre.

Densité. — 3,57.

Dureté. — Raye difficilement le verre.

Formes cristallines. — Prisme oblique non symétrique, dont les angles sont : M/T = 106° ; 101 et 93°, pour les angles des pans du prisme sur la base P. Les pans du prisme sont généralement très-nets.

Un clivage facile, et *deux clivages* difficiles, parallèles aux faces du prisme primitif. Cassure facilement lamelleuse parallèlement à M ; striée dans les autres sens, avec courbure des lames qui se soulèvent parallèlement au clivage facile.

Infusible au chalumeau.

Le disthène est toujours à l'état de cristaux allongés et lamel-

leux. Ces cristaux sont rarement terminés, presque toujours modifiés sur les arêtes *h* et mâclés suivant la disposition indiquée (*fig.* 124). Ces mâcles hémitropes déterminent des angles rentrants sous forme de cannelures longitudinales.

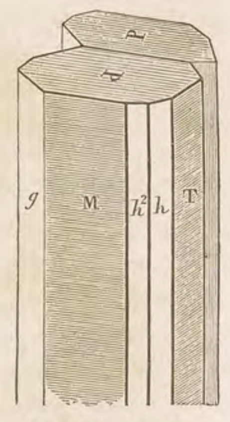


Fig. 124. — Disthène.

Les plus beaux cristaux de disthène proviennent du Saint-Gothard où ils sont interposés dans les feuillets d'un micaschiste. Ils y sont constamment accompagnés de cristaux de staurotide.

Les disthènes du Saint-Gothard contiennent environ 1 pour 100 de peroxyde de fer; quelques variétés de Bretagne et du Tyrol sont jaunâtres ou rougeâtres, parce que cette proportion s'élève à 3 et 4 pour 100.

Le disthène est d'ailleurs une substance tout à fait accidentelle, et toujours facile à reconnaître à sa couleur bleue et à ses clivages.

ANDALOUSITE. MACLES.

$(Al\,Fe)^3 Si^2$

Couleurs. — Gris ou jaunâtre, opaque et lithoïde: accidentellement rougeâtre ou brun noirâtre, par le mélange de substances étrangères.

Densité. — 3,10.

Dureté. — Raye légèrement le quartz.

Formes cristallines. — Prismes droits rhomboïdaux sous l'angle M/M = 91.

Point de clivages. Cassure grenue, inégale et pierreuse.

Infusible au chalumeau, inattaquable par les acides.

Les plus beaux cristaux d'andalousite viennent de la vallée de Lizens en Tyrol. Leur surface inégale rend impossible la mesure

exacte des angles, et leur apparence est tout à fait celle de prismes à base carrée ou rectangulaire. La figure 125 représente un groupe de cristaux d'andalousite de Lizens.



Fig. 125. — Andalousite, groupe de prismes droits rhomboïdaux.

Les sommets des prismes portent souvent des troncatures sur deux angles seulement : ces troncatures sont caractéristiques du prisme rhomboïdal.

L'andalousite forme rarement des cristaux aussi nets que ceux de Lizens, mais on la trouve très-souvent dans certains schistes argileux ou micaschistes, notamment en Bretagne et dans les Pyrénées, en cristaux rudimentaires désignés sous la dénomination de *Mâcles*.

L'aspect lithoïde de ces cristallisations imparfaites, leur cassure pierreuse, inégale, de couleurs ternes et mélangées, donnent l'idée que c'est en quelque sorte la roche elle-même qui tend à cristalliser ainsi. Ces mâcles appartiennent en effet, à des roches métamorphiques, et le silicate d'alumine qui s'y trouvait comme élément constituant y forme des cristaux à tous les degrés d'avancement, depuis les noyaux rudimentaires à angles émoussés jusqu'aux prismes les mieux définis.

Le mica et les oxydes qui pénètrent aussi la roche tendent

à s'isoler dans ces cristaux; ils se rassemblent vers les axes ou vers les angles des prismes, et forment divers dessins qui se détachent en noir sur le fond grisâtre de la pâte, et sont toujours coordonnés symétriquement par rapport aux axes. La figure 126 est un exemple des dessins symétriques et généralement cruciformes qui résultent des groupements déterminés par ce mouvement de cristallisation. Ces dessins sont visibles sur les cassures transversales des mâcles, surtout lorsqu'elles ont été polies.

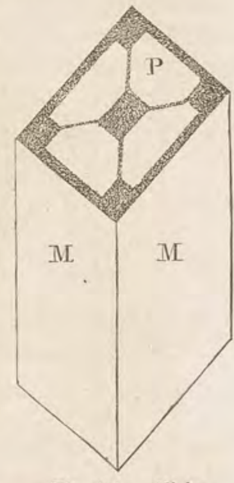


Fig. 126 — Mâcle.

Plusieurs minéraux en cristaux opaques et rudimentaires, présentent de l'analogie avec les mâcles. Telles sont les **couzeranites**, silicates doubles d'alumine et de chaux, qui ont cristallisé dans certains calcaires métamorphiques, sous forme de prismes rhomboïdaux opaques, ordinairement modifiés en prismes hexagonaux.

STAUROTIDE.

$(Al,Fe)^2Si$.

Couleurs.— Brun opaque; brun rougeâtre; aspect lithoïde.

Densité. — 3,70.

Dureté. — Raye difficilement le quartz.

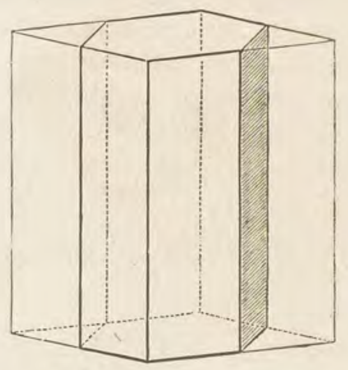
Formes cristallines. — Prismes droits rhomboïdaux sous l'angle de 129° modifiés sur les arêtes *h;* prismes mâclés sous les angles de 90° et 120°.

Point de *clivages;* cassure inégale, avec éclat un peu résineux.

Très-difficilement fusible au chalumeau.

La staurotide se trouve, comme le disthène, en cristaux em-

pâtés dans certains micaschistes, notamment au Saint-Gothard et en Bretagne. Les cristaux du Saint-Gothard sont bruns, à sur-



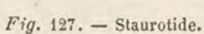


Fig. 127. — Staurotide.

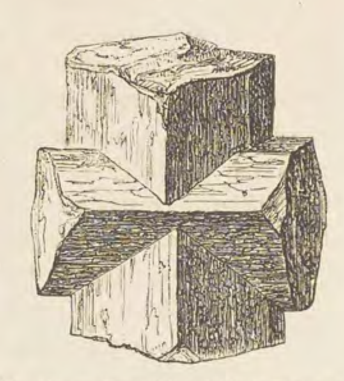


Fig. 128. — Staurotide mâclée de Bretagne.

faces lisses, assez éclatantes; ceux de Bretagne ont des surfaces inégales et pierreuses.

Les cristaux simples, en prismes rhomboïdaux primitifs, à peine transformés en prismes hexagonaux par la troncature des arêtes, *fig.* 127, sont assez répandus; mais les formes les plus fréquentes sont les formes mâclées qui l'ont fait désigner sous la dénomination de *pierre de croix*.

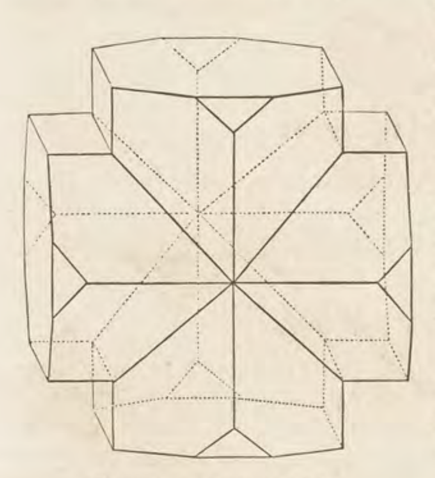


Fig. 129. — Staurotide mâclée.

La mâcle à angle droit est la plus ordinaire; elle est représentée figure 128 d'après une staurotide mâclée ou pierre de croix de Bretagne.

Ce sont deux prismes hexagonaux croisés, ainsi que l'indique la figure théorique 129. Sur les angles E on re-

marque très-souvent de petites troncatures triangulaires.

Les staurotides, dont l'aspect pierreux rappelle celui des cristaux d'andalousite, s'en distinguent par une couleur plus rougeâtre, plus ferrugineuse et par les formes cristallines. C'est d'ailleurs une substance tout à fait accidentelle.

PINITE.

Couleurs. — Gris opaque; gris jaunâtre ou rougeâtre; aspect lithoïde.

Densité. — 2,80.

Dureté. — Raye à peine le spath calcaire.

Formes cristallines. — Prismes modifiés sur les arêtes, attribués à un prisme non symétrique, les modifications sur les arêtes étant inégalement inclinées aux faces adjacentes.

Point de *clivages;* cassure inégale et grenue, sans aucun éclat.

Très-difficilement fusible au chalumeau.

La pinite se trouve en cristaux isolés, souvent cylindroïdes, dans certaines roches granitiques ou porphyriques; souvent même elle existe à l'état de grains amorphes. L'aspect lithoïde et pierreux de ces cristaux, leur richesse en alumine, les rapproche de certaines andalousites, mais la forme des cristaux et le gisement, la distinguent complétement, aussi bien que la composition.

Les variations considérables des analyses faites sur les pinites d'Auvergne et de Saxe, l'apparence lithoïde et souvent même argileuse des cassures, font penser que le silicate d'alumine Al^2Si est le seul élément essentiel. Les autres bases, dont la nature et les proportions varient, seraient plutôt à l'état de mélange qu'à l'état de combinaison, sauf le peroxyde de fer dont la présence constante s'explique par la substitution isomorphique de cet oxyde à une partie de l'alumine.

ARGILES. KAOLINS.

Les argiles plastiques, les kaolins, les argiles smectiques sont des silicates d'alumine hydratés; elles représentent une espèce minérale des plus importantes et la moins définissable, parce qu'il n'y a pas de cristaux qui permettent d'en préciser la composition.

Il n'existe pas, en effet, une argile type, cristalline, dont la composition soit déterminée d'une manière fixe, de telle sorte que toutes les variétés puissent être considérées comme des mélanges de l'espèce avec des substances étrangères. Et cependant les caractères minéralogiques de l'argile sont tellement nets et exceptionnels, tellement constants dans toutes les parties du globe, qu'il y a évidemment là une espèce minérale.

Les argiles sont composées : de silice dans la proportion de 42 à 66 pour 100, d'alumine dans la proportion de 18 à 39, et d'eau dans la proportion de 6 à 24.

Les argiles présentent des apparences très-diverses, suivant l'état de dessiccation dans lequel elles se trouvent. Outre l'eau combinée, elles contiennent une certaine proportion d'eau hygrométrique. Desséchées au soleil, elles sont tantôt rudes, tantôt douces au toucher; tendres, facilement rayées par l'ongle; elles se pulvérisent sans effort, sous la pression des doigts. Elles sont tellement avides d'eau, que, si on pose la langue sur un fragment, on sent qu'elles *happent*, en s'emparant de l'humidité. L'argile mouillée exhale une odeur spéciale, que les terrains argileux dégagent avec une assez grande intensité, lorsqu'après une sécheresse prolongée, une pluie d'orage vient détremper le sol.

Lorsqu'on mouille abondamment les argiles, l'eau les pénètre et elles deviennent malléables, *plastiques;* c'est-à-dire qu'elles forment une véritable pâte, que l'on peut pétrir en lui donnant toutes les formes. La pâte est plus ou moins *longue*, ce qui s'apprécie en formant une sorte de rouleau que l'on étire ensuite, de manière à le rompre par un effort de traction. Plus la pâte est longue, plus le rouleau s'allongera et s'étirera avant de

se rompre ; tandis que les argiles à pâte *courte* se rompront en s'allongeant et s'étirant très-peu. En maniant ainsi l'argile, on remarque de suite, qu'un certain temps de pétrissage, avec la proportion d'eau convenable, augmente la longueur des pâtes et les rend plus aptes à prendre des formes et des empreintes.

En augmentant beaucoup la proportion d'eau, on peut délayer complétement les argiles. On voit alors qu'elles sont composées de parties libres, excessivement fines et ténues, qui restent pendant longtemps en suspension dans l'eau. De là une propriété nouvelle : on peut laver les argiles en les délayant ; les parties argileuses resteront en suspension, tandis que des substances étrangères, disséminées en grains et particules plus ou moins fines, se précipiteront au fond du vase. Une *décantation* permettra de séparer toutes les parties argileuses qui se verseront avec l'eau.

De même, les argiles, une fois décantées et mises en pâte, pourront recevoir en mélange, une certaine proportion de substances étrangères, préalablement pulvérisées. Ces substances diminueront progressivement la plasticité, à mesure qu'on en ajoutera ; les argiles très-longues pourront, par conséquent, en admettre une plus grande proportion que les argiles courtes, sans perdre leurs propriétés plastiques.

Les argiles délayées, mises en pâte et conformées en briques, en poterie, etc., peuvent être calcinées, et jouissent de la propriété remarquable de prendre une dureté d'autant plus grande qu'elles seront plus pures. Ainsi, lorsqu'elles ne contiennent que quelques centièmes de matières étrangères et qu'elles ont été calcinées au delà de 300°, leur dureté est telle qu'elles font feu avec l'acier. Comme toutes les substances dures, les argiles calcinées sont, en général, peu tenaces ; les poteries ainsi fabriquées se brisent assez facilement.

Délayage des argiles dans l'eau, avec ou sans lévigation préalable ; pétrissage pour exalter les propriétés plastiques ; moulage et tournage pour donner les formes ; cuisson ou calcination au delà de 300° : telles sont les opérations des industries céramiques, auxquelles ont donné lieu les argiles ; industries anciennes et générales dans toutes les contrées du globe

et dont l'importance a toujours été en première ligne. Inutile de dire que les argiles impures sont employées à faire simplement les briques, tuiles et carreaux ; que les argiles de pureté moyenne servent à fabriquer les poteries et les faïences ; enfin que les plus pures fournissent les pâtes pour les faïences fines et les porcelaines.

Les substances qui altèrent la pureté des argiles sont le plus souvent : les oxydes de fer, qui les colorent en rouge ou en jaune ; le carbone et même le bitume, qui les colorent en gris ou en noir ; les silicates de fer, qui les colorent en verdâtre ; les silicates de chaux ou de magnésie, qui altèrent leur pureté sans les colorer ; enfin, la chaux carbonatée, qui peut se mélanger jusqu'à 10 à 12 pour 100, sans colorer et même sans altérer sensiblement les qualités plastiques des argiles, mais qui, au delà, détruit au contraire très-rapidement la plasticité. Ces mélanges d'argiles et de calcaires constituent ce que l'on appelle les *marnes*.

Ajoutons que certaines substances, telles que le quartz, les feldspaths, les micas, peuvent encore se trouver disséminées dans les argiles, en grains ou particules, que l'on peut écarter plus ou moins complétement par une lévigation.

Les argiles sont plus ou moins attaquables par les acides ; on a remarqué qu'elles l'étaient plus après avoir été calcinées à 100°, qu'à l'état naturel ; ce qui s'explique en ce qu'elles n'ont perdu à ce degré, que leur eau hygrométrique, et qu'elles reprennent cette eau très-vivement en conservant leurs propriétés plastiques. Calcinées à plus de 300°, les argiles pures sont tout à fait inattaquables.

Les argiles sont d'autant plus *réfractaires* qu'elles sont plus pures ; propriété précieuse, qui les fait rechercher par toutes les industries qui ont besoin de températures élevées, et surtout par les industries métallurgiques. La fabrication des produits réfractaires, tels que briques, fourneaux, creusets, cornues à gaz, etc., est elle-même une industrie importante, dans les contrées privilégiées qui ont l'avantage de posséder des gîtes puissants d'argiles pures.

Les argiles ayant une composition variable en silice, alumine

et eau ; ayant en outre une grande tendance à se mélanger intimement avec des substances étrangères, qui deviennent en quelque sorte parties intégrantes de leur composition, possèdent naturellement des propriétés très-variables. La manière dont elles se comportent au feu, le retrait qu'elles éprouvent par la calcination, leur dureté après calcination à une température plus ou moins élevée, leur couleur blanche ou colorée, leur ténacité, leur biscuit opaque ou translucide, leur infusibilité, etc., présentent une série de variations et même de nuances, très-importantes pour l'usage et la valeur des produits.

Ces propriétés variables des argiles, sont liées en grande partie à leur position géologique. Ainsi, on doit distinguer tout d'abord les *kaolins*, dont le gisement se lie aux roches feldspathiques éruptives.

Kaolins.— On a souvent regardé les kaolins comme l'expression de la plus grande pureté des argiles, et par conséquent comme la variété qui devait se rapprocher le plus de l'espèce type et cristallisable.

La blancheur des kaolins, leur propriété de donner par la cuisson les biscuits les plus durs et translucides sur les bords, semblent confirmer cette opinion. Mais des argiles aussi blanches et aussi pures que les kaolins, ne donnent pas cependant les mêmes biscuits de porcelaine translucide; et M. Salvetat considère, au contraire, les petites quantités de soude et de potasse que contiennent les kaolins, et le commencement de fusion qui en résulte sous l'influence d'un violent coup de feu, comme la cause des qualités du biscuit; en ajoutant cependant à cette cause, la pureté et la blancheur qui caractérisent les kaolins.

On trouve les kaolins en veines réticulées, filons, dykes et amas, dans des masses de pegmatites, granites et porphyres.

On a longtemps regardé ces kaolins comme résultant de la décomposition des feldspaths qui dominent dans ces roches, parce qu'en effet on voit, sur beaucoup de points, les feldspaths se décomposer et conduire graduellement à des argiles et des kaolins. Mais l'examen attentif des masses kaolineuses semble indi-

quer qu'elles représentent plutôt des feldspaths imparfaits, ou même une espèce minérale spéciale, dont l'origine doit être la même que celle des masses cristallines auxquelles elles sont subordonnées.

Tel est le gisement des veines, filons et amas kaolineux du Limousin, liés principalement à des pegmatites à gros éléments. Le kaolin y est toujours très-mélangé, principalement de quartz et de feldspath plus ou moins incomplet, dont on sépare les grains disséminés, par une lévigation qui recueille toutes les parties kaolineuses. Ces kaolins, lavés et décantés, sont envoyés dans l'eau même de lévigation qui les tient en suspension, jusqu'à des distances souvent considérables. On les laisse ensuite déposer, et l'on recueille le kaolin sous forme d'une argile blanche, à pâte courte, mais très-fine.

Les analyses donnent pour les principaux kaolins :

	SILICE.	ALUMINE.	POTASSE ET SOUDE.	EAU.
Saint-Yrieix.......	48,0	37,0	2,5	13,10
Nièvre............	49,0	36,0	1,6	12,60
Bretagne.........	48,0	36,0	2,0	13,00
Chine.............	50,5	33,7	1,9	11,20

D'après M. Salvetat, les kaolins, débarrassés des corps étrangers par le lavage, seraient encore un mélange d'argile-kaolin avec un résidu qui ne se dissout ni dans les acides, ni dans les alcalis; résidu de composition variable, formé de silicates à diverses bases. Il y a de plus, du quartz en excès, dans la plupart des argiles-kaolins.

L'argile kaolin, débarrassée de ces substances étrangères, aurait pour formule $Al\ Si + 2Aq$.

Argiles plastiques.— Les argiles proprement dites, c'est-à-dire qui sont assez pures et assez plastiques pour servir aux fabrications céramiques ou comme argiles réfractaires, sont très-variées dans leur composition. L'étude de ces argiles, de leurs propriétés, de leur composition, etc., est une étude qui date de loin et qui se poursuit incessamment. Voici comment M. Salvetat en résume les conclusions, pour les argiles les plus

employées en France, qui ont été analysées par lui-même ou par ceux qui l'ont précédé à la manufacture de Sèvres.

Ces argiles contiennent, comme les kaolins, de l'eau hygrométrique et de l'eau combinée, et leurs principes constituants sont également la silice et l'alumine, avec mélanges accidentels d'oxyde de fer, chaux, magnésie, etc. Prenant pour exemple les argiles énoncées ci-après :

Argile d'Abondant, près Dreux; argile blanche et plastique très-réfractaire ; employée pour creusets, hygiocérames, grès, etc.

Argile de Vaugirard (Seine), noirâtre, plastique, employée pour les poteries communes.

Argile de Forges (Seine-Inférieure), plastique, grise, estimée pour les pots de verrerie et pour la faïence.

Argile d'Hayange (Moselle), jaunâtre, sableuse, employée pour briques réfractaires.

Argile de Montereau (Yonne), plastique, d'un gris clair, très-estimée pour les faïences dites anglaises, terres de pipe, etc.

Argile de Salavas (Ardèche), plastique, rosâtre, micacée, employée à Saint-Etienne pour les usines.

Argile de Stourbridge (Angleterre), noire, peu plastique, très-estimée pour les briques réfractaires.

Argile d'Andennes (Belgique), plastique, grise et blanche, très-estimée pour les cornues à gaz, les faïences, les creusets et les briques réfractaires.

Ces argiles (les plus employées en France) sont composées comme suit : (*Salvetat*.)

	EAU COMBINÉE.	SILICE.	ALUMINE.	OXYDE DE FER.	CHAUX.	MAGNÉS.
Abondant...	13,10	50,60	35,20	0,40	»	»
Vaugirard...	14,58	51,84	26,10	4,91	2,25	0,23
Forges......	11,00	65,00	24,00	traces.	»	»
Hayange....	7,50	66,10	19,80	6,30	»	»
Montereau..	10,00	64,40	24,60	traces.	»	»
Salavas.....	11,05	58,76	25,10	2,50	»	2,51
Andennes...	19,00	52,00	27,00	2,00	»	»
Stourbridge.	17,34	45,25	28,77	7,72	0,47	»

Les argiles plastiques se trouvent en couches puissantes dans les formations secondaires et tertiaires. On en fait un usage général. Suivant leur pureté, on distingue les argiles blanches propres à la fabrication des faïences ; les argiles colorées, pour la fabrication des poteries communes; les argiles réfractaires, en général assez pures, mais pouvant sans inconvénient être colorées en gris ou noir par le carbone; enfin les argiles impures, ou terres à briques.

Toutes ces variétés se trouvent dans le bassin tertiaire de Paris. Les argiles blanches et pures, à Montereau; les argiles plastiques, grises ou rouges, à Vaugirard, à Meudon, etc. ; les argiles vertes ou glaises de la formation gypseuse, dans toute les localités où l'on exploite le gypse, à la partie supérieure.

Argiles smectiques.— Certaines argiles, encore plus hydratées que les argiles plastiques, présentent des caractères un peu différents et des propriétés qui le sont encore plus ; on leur a donné le nom d'argiles smectiques, ou *terres à foulon*, parce qu'elles absorbent facilement les corps gras, et qu'on les emploie, dans ce but, au foulage des draps.

Ces argiles sont très-onctueuses au toucher, et rappellent en quelque sorte le toucher du talc ; elles se délayent mal et ne font qu'une pâte courte peu malléable ; au feu, elles se déforment et se gercent en perdant leur eau de combinaison et sont presque toujours très-fusibles, parce qu'elles sont moins pures que les argiles ordinaires. Elles sont aussi beaucoup moins répandues. Les argiles smectiques de Surrey (Angleterre) et de Silésie sont les types de l'espèce ; leur composition a donné :

	SURREY.	SILÉSIE.
Silice	53,00	48,50
Alumine	10,00	15,50
Chaux	0,50	»
Magnésie	1,25	1,50
Oxyde de fer	9,75	7,00
Eau	24,00	25,50

L'argile smectique se trouve sur quelques points des environs

de Paris, parmi les couches argileuses de la formation du gypse. Elle forme un banc un peu schisteux, marbré, bien connu sous la dénomination de *savon de soldat*.

Roches argileuses.

Les argiles, mélangées de diverses substances, servent de base à une série de roches qui, dans presque toutes les formations géologiques, alternent avec les autres roches sédimentaires.

Dès la période de transition, elles se montrent en alternances avec les micaschistes, les grès, les quartzites, sous forme de *schistes argileux*.

Le schiste argileux est une roche à texture serrée et structure foliacée; de couleur très-variable, verdâtre, jaunâtre ou rougeâtre, gris, gris bleuâtre, noire; toujours indélayable.

Les schistes homogènes et fissiles que l'on emploie comme schistes *ardoisiers*, résument les caractères de cette roche qui forme des bancs très-puissants. Ceux que l'on exploite aux environs d'Angers ont plus de 50 mètres d'épaisseur, et fournissent les ardoises gris bleuâtre, qui sont le type du schiste argileux. On exploite encore des bancs d'ardoise de très-bonne qualité, en Bretagne, dans les Ardennes, en Tarantaise, en Maurienne, etc.

Ces schistes ardoisiers qui se retrouvent dans presque tous les terrains de transition, sont composés de silicates d'alumine mélangés de quartz en excès, d'oxydes ou silicates de fer, de mica, etc.; ils paraissent, comme les argiles proprement dites, formés de grains excessivement ténus, abandonnés par les eaux sédimentaires. On attribue leur origine, aux premières décompositions des masses granitiques, au lavage de ces masses décomposées, par les eaux sédimentaires, et au dépôt des matières les plus fines que ces eaux ont tenues en suspension.

Pourquoi ces silicates d'alumine, produits par la décomposition des feldspaths, ne sont-ils pas, comme les argiles proprement dites, délayables dans l'eau? Cette différence, dont on ne peut

apprécier les causes avec certitude, tient évidemment à l'état particulier du globe pendant les premières périodes géologiques; c'est un vrai métamorphisme de l'argile.

Le schiste argileux n'est pas absolument indélitable à l'air ; des ardoises qui ont été exposées aux influences atmosphériques pendant vingt-cinq ans ou plus, ont perdu leur ténacité et se réduisent facilement en une poussière fine. C'est une désagrégation produite par l'action prolongée des agents atmosphériques.

Les argiles qui ont succédé à ces premiers dépôts commencent à être, sinon délayables, du moins délitables. Elles se gonflent par une longue exposition à l'air, et tombent dès qu'elle est desséchée en petits fragments ou même à l'état pulvérulent. Tels sont les schistes argileux du terrain houiller, désignés pour cette raison, par la dénomination d'*argile schisteuse*.

Cette tendance à prendre la structure schisteuse et fissile est un caractère général des dépôts argileux de la période de transition. On peut ajouter aussi, comme caractère général, la tendance de ces argiles à se mélanger de substances étrangères et surtout de quartz, de mica et d'oxydes de fer. Ces substances déposées avec l'argile en lits successifs, et en proportion très-variable, paraissent être pour beaucoup dans la schistosité du dépôt.

Dans les argiles dites *coticulaires*, qui servent de pierre à repasser, la proportion de la silice atteint 65 et 70 pour 100.

Dans les argiles schisteuses du terrain houiller, le quartz, le mica et le carbone, établissent par leur mélange, des variétés nombreuses.

C'est par exception qu'on trouve dans les terrains de transition, et même dans les terrains houillers ou permiens, des argiles délayables ou plastiques. Dans les dépôts du Trias et du Lias, les marnes fragmentaires ou feuilletées, irisées de gris, de verdâtre et de rouge, ou noirâtres et bitumineuses, mais se délitant facilement à l'air, malgré leur faible proportion d'argile, indiquent déjà une transformation dans les dépôts de cette nature.

C'est seulement dans les formations jurassiques et crétacées, et surtout dans les formations tertiaires, que l'argile s'isole et

s'épure de manière à constituer des bancs puissants, avec tous ses caractères d'hygrométrie et de plasticité.

Les argiles smectiques sont jurassiques, crétacées ou tertiaires, et l'on a remarqué qu'elles existaient surtout dans les grands systèmes d'alternances calcaires.

Les formations jurassiques, crétacées et tertiaires, sont en grande partie composées d'alternances calcaires et argileuses. Parmi ces alternances argileuses, dominent les mélanges de calcaire et d'argile, auxquels on donne les dénominations de *marnes*, lorsque la proportion de l'argile s'élève de 20 à 50 pour 100 ; d'argile marneuse, lorsque c'est l'argile qui domine, et de calcaire marneux, lorsque c'est l'inverse.

Ces mélanges, en toutes proportions, sont les roches dominantes des étages que l'on appelle argileux ; mais lorsque l'argile s'isole de manière à former des bancs à peu près purs comme ceux de l'argile plastique du bassin de Paris, ou ceux du Devonshire, cette roche devient alors le siége d'industries nombreuses et d'autant plus importantes, que ses propriétés plastiques, céramiques ou réfractaires sont plus prononcées.

GROUPE DES MICAS ET CHLORITES.

Nous comprenons dans ce groupe une série de substances cristallines, caractérisées par un clivage excessivement facile, de telle sorte qu'on peut les diviser en lames flexibles d'une très-grande ténuité. Par suite de cette propriété, ces minéraux sont ordinairement disséminés dans les roches, en paillettes lamelleuses et éclatantes.

La composition des diverses espèces qui composent ce groupe, se rapporte à deux types : les **micas** qui sont des silicates à peu près anhydres, et les **chlorites** qui sont toujours hydratées. Ces deux classes diffèrent encore d'une manière très-notable, par les bases, mais leurs caractères minéralogiques les rapprochent de telle sorte, qu'il y a tout avantage à rapprocher leur description.

MICAS.

Couleurs. — Blanc, jaune, rose, rougeâtre, vert, gris, noir. Eclat brillant et semi-métallique.

Densité. — 2,70.

Dureté. — Rayé par le spath calcaire; raye le gypse.

Formes cristallines. — Lames arrondies, se dessinant souvent en tables hexagonales; accidentellement, en prismes hexagonaux qui paraissent dériver tantôt d'un rhomboèdre, tantôt d'un prisme rhomboïdal.

Un clivage excessivement facile à surfaces éclatantes; les cassures perpendiculaires à ce clivage sont difficiles, arrachées et striées. Les lames minces obtenues parclivage, sont flexibles et *élastiques.*

Au chalumeau, les micas se comportent d'une manière variable, certaines variétés étant fusibles et d'autres infusibles.

La diversité des caractères des micas, annonce qu'il en existe plusieurs espèces; et, en effet, les analyses indiquent une composition très-variable.

Les micas ont été distingués en deux classes :

1° Ceux qui contiennent une forte proportion de magnésie, de 16 à 25 pour 100; peu d'alumine, de 11 à 16 pour 100; plus, 8 à 10 pour 100 de potasse, comme tous les micas;

2° Ceux qui ne contiennent point de magnésie, mais qui sont riches en alumine, 25 à 37 pour 100; la potasse restant dans les mêmes proportions;

Ce qui revient à distinguer les micas magnésiens de ceux qui ne le sont pas.

Mais il y a encore d'autres différences : l'oxyde de fer varie, par exemple, de 5 à 20 pour 100. Enfin, presque toutes les analyses de mica indiquent un peu d'eau, de 1 à 4 pour 100, et un demi-centième d'acide fluorhydrique.

Malgré ces variations de composition, les caractères minéra-

logiques sont tellement constants, que le mica se reconnaît immédiatement dans toutes les roches où il existe.

Les plus belles cristallisations de mica, dont la figure 130 est



Fig. 130. — Mica en tables hexagonales, groupe de cristaux de Zinwald.

un exemple, proviennent de Zinwald, en Bohême, où il constitue avec le quartz, une roche granitique particulière, à laquelle on donne le nom de *greisen.*

Le mica, gris verdâtre, éclatant, de ces greisens, s'isole dans les géodes, en tables hexagonales empilées les unes sur les autres et diversement groupées.

Les cristaux aussi bien formés sont assez rares, mais on trouve très-souvent, parmi les paillettes de micas de toutes couleurs, qui abondent dans les granites, des paillettes hexagonales.

Les micas sont des éléments constituants des granites; on en trouve dans quelques porphyres et dans quelques trachytes. Mais ils abondent surtout dans les roches désignées sous le nom de *micaschistes*, où leur disposition stratifiée en feuillets, détermine une structure schisteuse caractéristique. Lorsqu'on brise ces roches dans le sens de leur schistosité, on ne voit en quelque sorte, que le mica pailleteux et éclatant; dans le sens transversal, on voit les autres éléments, tels que les grains de quartz.

Beaucoup de grès schisteux et de schistes argileux, doivent leur structure à cette disposition du mica, suivant les plans de stratification.

Dans les roches cristallines, le mica s'isole quelquefois en lames de plusieurs décimètres de diamètre. Lorsque ces micas sont transparents, on peut les débiter en feuilles minces qui servent à divers usages, notamment comme verres à vitres. C'est principalement de Sibérie que nous viennent ces grandes lames de mica, que l'on utilise encore, comme verres de lanterne, mettant ainsi à profit l'élasticité du mica et sa résistance au choc.

Les micas **lépidolites,** à base de lithine dans la proportion de 3 à 5 pour 100, et contenant de 3 à 8 pour 100 d'acide fluorhydrique, paraissent former une espèce distincte. Ces micas ne contiennent pas de magnésie.

Les micas lépidolites sont en général caractérisés par une couleur rose lilas. Ils forment quelquefois des masses non feuilletées, à cassures un peu grenues et lithoïdes; on en trouve notamment aux environs de Limoges. Les mêmes gîtes nous présentent d'ailleurs le mica lépidolite en tables hexagonales, avec le clivage éclatant, caractéristique de l'espèce.

Il existe des micas lépidolites blancs argentins et verts, très-difficiles à distinguer des micas ordinaires.

CHLORITES.

La série des chlorites, comme celle des micas, comprend évidemment plusieurs espèces distinctes; mais les caractères généraux de ces espèces sont tellement rapprochés, qu'on n'a pu établir de distinction, qu'en ayant recours à des observations sur les propriétés optiques de lames cristallines. Les caractères minéralogiques sont encore plus uniformes pour les chlorites que pour les micas; et, si l'on n'est pas arrivé à établir d'une manière sûre, plusieurs espèces de micas, à plus forte raison doit-on écarter les subdivisions essayées dans les chlorites.

Les caractères généraux sont, pour les variétés cristallines :

Couleurs. — Vert foncé, éclatant suivant le sens des clivages.

Densité. — 2,65.

Dureté. — Entre celle du spath calcaire et celle du gypse.

Formes cristallines. — Tables hexagonales ; prismes hexagonaux réguliers ; rhomboèdres tronqués jusqu'à la section hexagonale.

Un clivage très-facile, parallèlement aux bases des tables hexagonales, ou perpendiculairement à l'axe des rhomboèdres. Les lames soulevées par le clivage sont flexibles, mais ne sont pas élastiques comme celles du mica. La cassure est inégale et grenue dans un sens transversal aux lames ; la poussière est vert clair et onctueuse au toucher.

Difficilement fusible au chalumeau en un verre noir.

Parmi les nombreuses analyses faites sur les diverses espèces ou variétés de chlorites, nous citerons les suivantes, en arrondissant les nombres, car les fractions de centième ont peu d'importance en présence de pareilles variations.

	ALA.	ZILLERTHAL.	SAINT-GOTHARD.	OURAL.
Si..........	31	28	28	25
Al..........	19	21	18	15
Mg..........	33	24	14	4
Fe..........	5	15	27	41
Aq..........	12	12	13	15

Nous voyons, d'après ces variations, que la silice et la magnésie diminuent à mesure que l'oxyde de fer augmente, de telle sorte que l'on peut distinguer les chlorites magnésiennes et les chlorites ferrugineuses.

Les plus beaux échantillons de chlorite cristallisée viennent d'Ala, en Piémont ; ils sont en tables hexagonales assez éclatantes, biselées sur les bords. Ceux du Zillerthal, en Tyrol, ont

la même forme, sont translucides sur les bords, et présentent l'éclat un peu gras du talc.

A Zermatt, on trouve la variété dite **pennine**, en rhomboèdres tronqués. Cette variété translucide, vue par réflexion, est d'un vert foncé ; elle est rougeâtre lorsqu'on la regarde par transparence.

La *chlorite schisteuse* ou *écailleuse*, qui existe en un grand nombre de points, dans les roches métamorphiques des Alpes, paraît avoir une composition assez constante. Elle contient comme bases : 20 à 24 pour 100 de protoxyde de fer, plus 15 à 20 pour 100 de magnésie, dont quelques centièmes sont ordinairement remplacés par la potasse.

La nature chloriteuse des roches des Alpes, se manifeste aussi par la présence d'une variété de *chlorite grenue*, disséminée en particules d'un vert foncé ou rassemblée en noyaux et veinules.

On cite des *chlorites terreuses*, en grains disséminés dans un grand nombre de roches sablonneuses ou calcaires.

Les sables de la craie inférieure nommés *sables verts*, sont composés de grains quartzeux, mélangés d'une assez forte proportion de ces *grains chloriteux* que l'on désigne sous la dénomination de **glauconie.** Les grès verts, si fréquents à la partie inférieure des terrains crétacés, sont, en quelque sorte, ces mêmes sables agglutinés.

La *craie glauconieuse* est un calcaire terreux criblé de points verts qui sont encore de la chlorite. Un grand nombre d'analyses de ces grains verts y indiquent en effet :

Si......	de 40 à 56	*Al*.......	de 2 à 10
Fe......	de 18 à 24	*Mg*.......	de 2 à 16
K.......	de 0 à 12	*Aq*.......	de 6 à 12

plus quelques centièmes de chaux.

Ces glauconies ou chlorites terreuses se retrouvent à Paris, dans les calcaires grossiers inférieurs; elles représentent évidemment l'état terreux et impur des chlorites.

GROUPE DES FELDSPATHS.

Nous comprenons dans ce groupe la série des espèces dites feldspaths, plus quelques autres, qui ont des caractères tout différents, mais qui se rapprochent des feldspaths par leur composition et par leur propriété de se substituer à eux dans certaines roches.

Il n'est pas de substance minérale qui ait donné lieu à autant d'études et d'analyses que le feldspath. L'intérêt qu'il présente résulte non-seulement de son abondance et du rôle essentiel qu'il joue dans la composition des roches éruptives, mais encore de la diversité de ses caractères qui a permis d'en distinguer plusieurs espèces.

On comprend, en effet, sous la dénomination de feldspaths, une série de silicates d'alumine et de potasse, soude ou chaux, qui ont pour caractères communs :

1° Une coloration généralement faible, depuis le blanc limpide ou mat jusqu'au rose et au rougeâtre, au jaunâtre, etc.;

2° Une pesanteur spécifique de 2,50 à 2,75 ;

3° Une dureté inférieure à celle du quartz, mais supérieure à celle de tous les autres minéraux communs;

4° Des formes cristallines d'une grande analogie;

5° Un ou deux clivages, de telle sorte que tous les feldspaths sont lamelleux, ce qui les distingue du quartz;

6° Leur fusibilité à une température élevée, propriété facile à constater au chalumeau.

M. Dufrenoy a fait remarquer que dans tous les feldspaths, le rapport de l'alumine aux alcalis est 3 : 1, et que les proportions variables de la silice, constituaient seules les différentes espèces. Ces différences restent comprises dans des limites telles, que l'oxygène de la silice est 12 fois au maximum et 4 fois au minimum celui des alcalis.

Les différences qui établissent des distinctions dans les feldspaths, seront indiquées par la description des espèces.

FELDSPATH ORTHOSE

$3AlSi^3 + (K,Na)Si^3$.

Couleurs. — Blanc ; rosé ; rouge ; jaunâtre ; brun.

Densité. — 2,50 à 2,60.

Dureté. — Rayé difficilement par le quartz, raye facilement l'apatite et même le verre. Fait feu avec l'acier lorsqu'on le frappe dans un sens perpendiculaire aux clivages.

Formes cristallines. — Prismes rhomboïdaux obliques, modifiés, le prisme primitif étant M/M = 119° ; P/M = 112°.

Deux clivages faciles et perpendiculaires entre eux ; l'un parallèle à la base P, et l'autre au plan diagonal G. Les cassures transversales aux clivages sont arrachées et esquilleuses ; on croit quelquefois y deviner des clivages difficiles parallèles aux faces M.

Fusible au chalumeau, sur les bords des éclats minces ; fond assez facilement dans le borax avec lequel il forme un verre limpide. Inattaquable par les acides, même par une digestion prolongée.

La composition de l'orthose résulte de l'analyse suivante :

		OXYGÈNE.	RAPPORTS.
Silice...........	65,70	34,16	12
Alumine........	18,18	8,69	3
Potasse.........	14,14	2,41	} 1
Soude...........	1,44	0,37	}
Chaux..........	traces.	»	}

d'où l'on a tiré la formule :

$$3AlSi^3 + KSi^3 \quad \text{ou} \quad 3AlSi^3 + (KNa)Si^3$$

Suivant les analyses, il y a quelques variations dans les proportions de potasse et de soude, mais la potasse reste toujours en quantité très-supérieure. Cette espèce, la plus répandue, a reçu le nom d'*orthose* ou feldspath à base de potasse.

Quelques traces d'oxyde de fer ou de magnésie se trouvent dans certains échantillons, mais à l'état de mélange.

La cristallisation de l'orthose offre un double intérêt; d'abord, elle caractérise l'espèce et permet de la distinguer des autres feldspaths; en second lieu elle est l'expression la plus complète des lois de la cristallographie, appliquées au cinquième système cristallin.

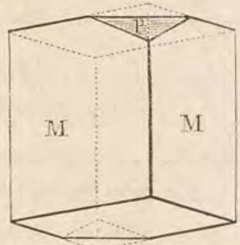


Fig. 131.

Les variétés d'orthose, translucides ou d'un blanc mat, que l'on appelle *adulaires* et qui existent dans les roches métamorphiques des Alpes, notamment au Saint-Gothard et en Dauphiné, affectent souvent la forme primitive.

Cette forme est ordinairement altérée par des troncatures sur les angles A qui réduisent les bases P, ou même arrivent à les remplacer, ainsi qu'il est indiqué figure 131.

La figure 132 représente un groupe de cristaux du Saint-Gothard, où les troncatures *a* sont indiquées à divers degrés

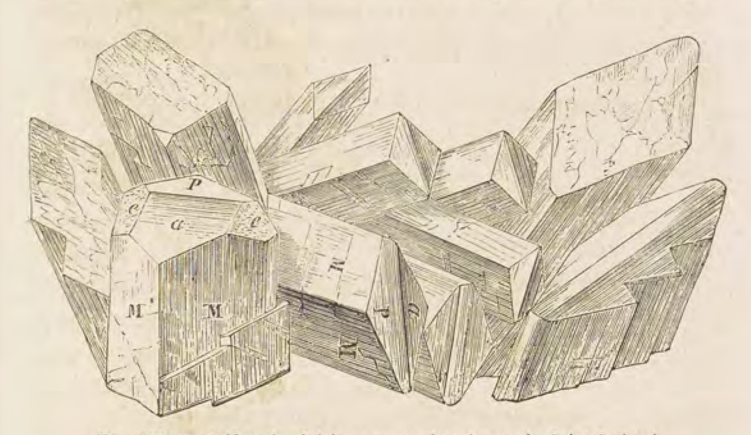


Fig. 132. — Feldspath adulaire; groupe de cristaux du Saint-Gothard.

d'avancement. Les positions très-diverses des prismes, mettent en évidence les apparences assez variées de ces cristaux. On remarquera les stries produites sur les sommets par les reprises

répétées des faces P et a. Un des cristaux porte en outre des modifications sur les angles e. Sur plusieurs cristaux on remarquera un commencement de troncature sur l'arête latérale g, modification qui joue un rôle important dans les formes dérivées.

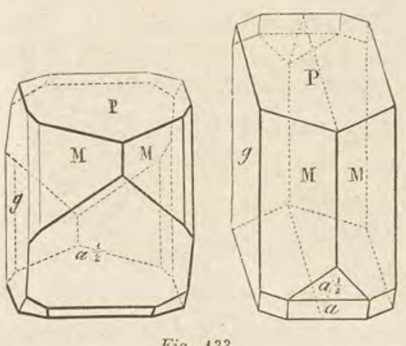


Fig. 133.

Les formes dérivées figure 133 sont celles de gros cristaux empâtés dans beaucoup de granites porphyroïdes. On peut souvent dégager ces cristaux lorsque les pâtes granitiques qui les enveloppent se désagrégent ou même se décomposent. Ces formes font apprécier l'importance que peuvent prendre les faces g, qui sont précisément parallèles au clivage facile et perpendiculaires à celui de la base P.

Les faces $a\,\frac{1}{2}$, a, ont également des développements très-variables qui modifient plus ou moins l'apparence des cristaux.

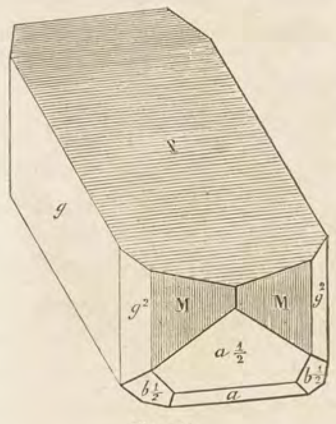


Fig. 134.

Dans d'autres cristaux des roches granitiques et porphyriques, les faces P et g priment toutes les autres. Il en résulte de gros *prismes rectangulaires* (*fig.* 134), dont les sommets sont formés par les faces M et M, a, $a\,\frac{1}{2}$, et accessoirement g^2 et $b\,\frac{1}{2}$.

Enfin, il arrive que ce sont les faces g qui dominent toutes les autres, et les cristaux prennent encore une autre apparence, celle de cristaux plats, dont les bords sont diversement modifiés.

La figure 135 représente un de ces cristaux encore très-épais,

car il en est de beaucoup plus aplatis. Ce cristal est, ainsi que celui qui est représenté figure 134, chargé de modifications supplémentaires qui peuvent prendre une plus ou moins grande extension et faire varier l'apparence des cristaux.

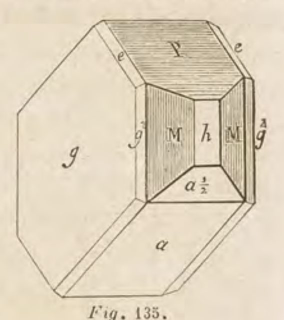


Fig. 135.

La position des clivages P et *g*, relativement à toutes les faces, fournit d'ailleurs un moyen commode de reconnaître toutes les modifications qui ont affecté la forme primitive.

Dans les roches trachytiques, lorsque le feldspath s'isole en grands cristaux, la cassure de ces cristaux présente des caractères particuliers qui l'ont fait désigner pendant longtemps sous la dénomination spéciale de *Ryacolite.*

Ce feldspath est vitreux et translucide; il est fendillé suivant les sens de clivage, comme une substance vitreuse étonnée, c'est-à-dire refroidie subitement alors qu'elle était à une température élevée. On a reconnu d'ailleurs que cette variété n'était autre chose que l'orthose à l'état vitreux.

Les cristaux, que l'on peut extraire de ces roches et qui même s'en dégagent avec la plus grande facilité (lorsque la pâte trachytique est peu cohérente et comme à l'état de cendres, ainsi qu'il arrive sur plusieurs plusieurs points du Mont Dore, en Auvergne, et au Drachenfels, sur les bords du Rhin), appartiennent aux deux derniers types, dans lesquels dominent successivement les faces P ou *g*.

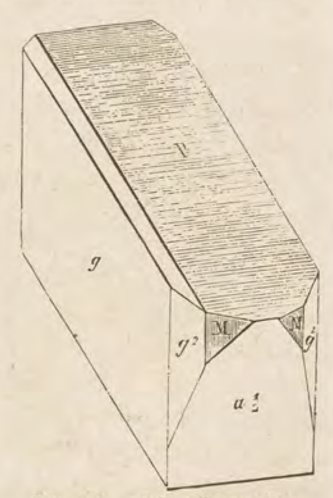


Fig. 136. — Feldspath ryacolite; cristal du Drachenfels.

La forme de prisme rectangulaire, exactement représentée figure 136 d'après un cristal isolé

du Drachenfels, indique la réduction des faces du prisme M à la proportion de simples facettes. $a\frac{1}{2}$ semble former la base d'un prisme carré dont les faces seraient P et *g*. Lorsque ces cristaux sont brisés, la section transversale est carrée et sillonnée de stries indiquant les clivages rectangulaires.

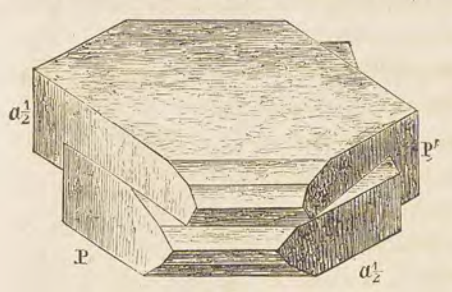


Fig. 137. — Feldspath ryacolite; cristaux mâclés du Drachenfels.

La forme aplatie est encore plus fréquente, mais avec la complication de mâcles dont la disposition est indiquée par la figure 137.

Les deux cristaux se pénètrent, avec une inversion hémitrope, de telle sorte que les faces P de l'un, correspondent aux faces $a\ \frac{1}{2}$ de l'autre.

Les mâcles et les hémitropies sont très-fréquentes dans les cristaux de feldspath. Lorsque ce sont des mâcles, c'est-à-dire des groupements de deux cristaux, dont les faces tendent à se dégager d'une même masse, mais qui s'isolent et déterminent des angles rentrants, ainsi qu'il est indiqué précédemment, la structure des cristaux se reconnaît aussitôt.

Mais lorsque l'hémitropie est parfaite, c'est-à-dire que ce sont deux demi-cristaux, placés en sens inverse et régulièrement coordonnés par rapport au même axe, l'hémitropie se produisant, en général, parallèlement au plan diagonal *g*, qui est perpendiculaire aux bases, la structure hémitrope ne se manifeste plus par des angles rentrants.

Ainsi, dans la figure 138 qui représente une de ces hémitropies, la face P se placera à côté de la face ꓷ, de telle sorte qu'elles se trouveront dans le même plan et que leur réunion ne formera qu'un même plan; il en sera de même des faces *a* et *v*, M et IV.

Le cristal hémitrope aura donc l'apparence d'un cristal simple.

Si l'on vient à briser le cristal, la disposition des clivages indique aussitôt la dualité et l'inversion. La moitié du cristal est striée dans un sens, tandis que la cassure de l'autre moitié est arrachée.

Ce caractère est visible dans les cassures d'une multitude de granites porphyroïdes et de porphyres où les cristaux, brisés transversalement, présentent la section indiquée figure 139.

Les formes les plus complexes et les plus difficiles du feldspath orthose résultent d'hémitropies qui se produisent non plus parallèlement à la diagonale g du prisme primitif, mais parallèlement à la diagonale du prisme dérivé, que nous avons appelé le prisme rectangulaire.

Fig. 139. — Section d'un cristal hémitrope.

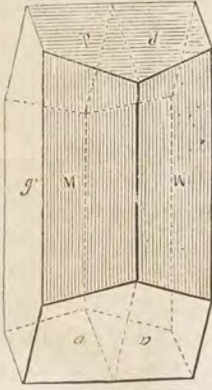


Fig. 138. — Feldspath hémitrope.

Cette hémitropie (*fig.* 140) aura pour résultat de placer d'une manière contiguë, les deux faces g^1 d'un côté, tandis que les deux faces P seront contiguës de l'autre côté.

Les faces M seront coupées obliquement et transportées, de telle sorte qu'un sommet pourra en présenter quatre. Enfin, les faces a et b, venant augmenter la complication des sommets, le cristal présentera la disposition indiquée figure 140.

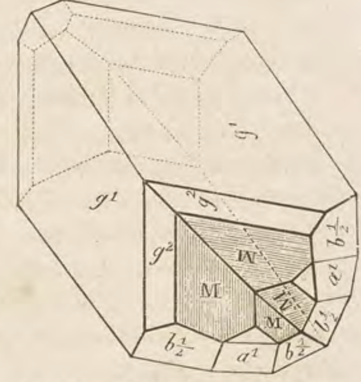


Fig. 140. — Feldspath orthose hémitrope.

Si l'on joint à la complication naturelle des faces, celles qui peuvent résulter de leur développement inégal ou même de la suppression apparente de

quelques-unes par suite d'un amoindrissement exagéré, on comprend que la désignation de toutes les faces que peut présenter un sommet, devient un problème souvent difficile à résoudre.

La détermination des cristaux n'exige pas un pareil détail. Ainsi, un premier coup d'œil jeté sur les cristaux naturels figures 141 et 142 permet de reconnaître d'abord le type désigné ci-dessus comme dérivé rectangulaire, appréciation confirmée par la disposition des clivages.

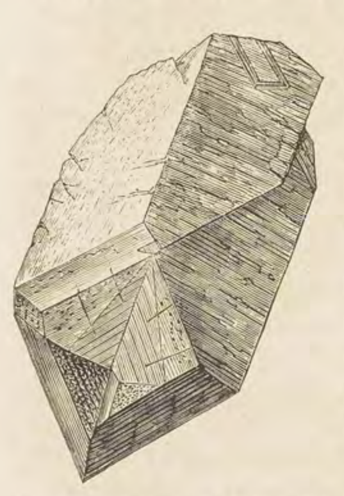


Fig. 141. — Feldspath adulaire; cristal hémitrope du Saint-Gothard.

L'hémitropie est indiquée par la dyssymétrie des sommets et, souvent, par la structure même des cristaux. Ainsi, dans la figure 141, les deux moitiés hémitropes ne s'appliquent pas exactement, et l'une d'elles tend à se dégager sur le sommet par une face qui détermine un angle rentrant.

Les plus beaux cristaux des collections proviennent, en général, des carrières granitiques de Baveno (*fig.* 142), où ils s'isolent en géodes ; et de celles de Campo dans l'île d'Elbe qui sont en général des cristaux simples se rapprochant des formes précédemment indiquées figure 133.

La propriété du feldspath, d'être à la fois dur et fusible, a donné lieu à de précieuses applications dans les arts céramiques.

La principale de ces applications est son emploi comme couverte ou émail pour toutes les porcelaines. L'émail obtenu par la fusion du felldspath est en effet blanc, transparent et assez dur pour résister au couteau.

Dans beaucoup de cas, la pâte céramique elle-même peut être faite uniquement de feldspath. Les boutons dits de porcelaine se fabriquent ainsi, de telle sorte qu'au feu la surface seule se fond

en émail, tandis que la partie centrale à demi fondue prend la consistance du biscuit.

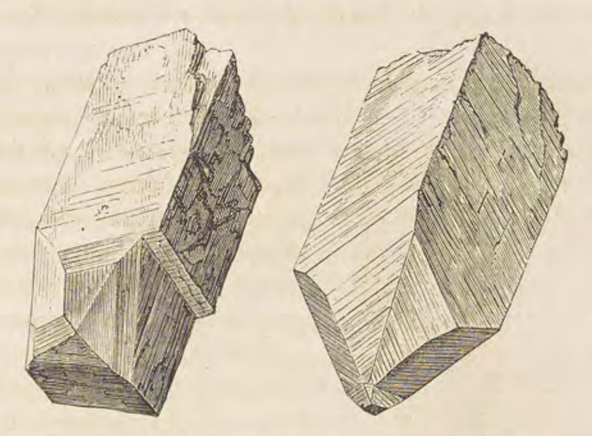


Fig. 142. — Feldspath orthose ; cristaux hémitropes de Baveno.

Le feldspath existe souvent à l'état cristallin en nodules, en veines, en filons, et toujours on le reconnaît à ses deux caractères les plus saillants : sa dureté et surtout sa texture lamelleuse résultant de deux clivages perpendiculaires.

Enfin, on peut rencontrer le feldspath à l'état compacte, c'est-à-dire sans ses clivages caractéristiques. Cet état est très-exceptionnel, en ce sens qu'il n'existe guère que pour les feldspaths très-impurs, que l'on désigne ordinairement sous le nom de *Pétrosilex*.

A l'état compacte, le feldspath conserve encore son caractère distinctif de dureté un peu inférieure à celle du quartz, mais on s'y tromperait quelquefois, si l'on n'était aidé par des caractères supplémentaires.

Le feldspath pétrosilex a une grande finesse de grain et une cassure esquilleuse, céroïde, qui lui est spéciale. Cependant on peut quelquefois confondre certaines variétés avec les quartzites ; dans un cas douteux, les pétrosilex étant toujours fusibles et même plus fusibles que les feldspaths purs, un essai au chalumeau fixerait avec certitude.

FELDSPATH ALBITE.

$3AlSi^3 + NaSi^3$.

Dans un grand nombre de gîtes, le feldspath orthose contient quelques centièmes de soude. Cette substitution de la soude à la potasse peut même aller à la moitié, c'est-à-dire à plus de 5 pour 100, et l'orthose ne conserve pas moins ses caractères minéralogiques. Mais, si la proportion de soude vient à dominer la potasse, à plus forte raison si elle vient à l'éliminer complétement, certains caractères se modifient, une nouvelle espèce est produite, à laquelle on a donné le nom d'*albite*.

Le type de l'espèce peut être pris dans le Dauphiné, où l'albite se trouve cristallisée, soit en cristaux limpides et translucides, soit en cristaux blancs opaques. L'analyse a donné :

		OXYGÈNE.	RAPPORTS.
Silice...........	67,99	35,12	12
Alumine........	19,61	9,15	3
Soude	11,12	2,84	1
Chaux..........	0,66	0,18	
Potasse.........	traces.	»	

d'où la formule identique à celle de l'orthose, sauf la substitution de la soude à la potasse :

$$3AlSi^3 + NaSi^3.$$

On a donné à ce feldspath le nom d'albite, parce que les premiers échantillons analysés et reconnus à base de soude, avaient en effet le caractère spécial d'une blancheur mate. Depuis, on a reconnu que ce caractère n'avait rien d'absolu.

L'albite a la même dureté que l'orthose, et fait feu avec l'acier.

Elle est inattaquable aux acides.

Elle est de même fusible à une haute température.

La différence de la composition n'est réellement signalée que par la différence des caractères cristallographiques.

Dans l'albite lamelleuse et cristallisée, le clivage de la base est

un peu plus facile que le clivage diagonal, et, au lieu d'être perpendiculaires entre eux, ces deux clivages font un angle de 93°.

Les cristaux dérivent d'un prisme oblique non symétrique (sixième système), dont les angles sont P/M = 115°, P/T = 111°.

Dans les groupes cristallins, les hémitropies parallèles au plan diagonal se rencontrent assez souvent, et présentent des angles rentrants qui ne peuvent exister dans l'orthose, dont le plan diagonal est perpendiculaire au plan de la base.

Les figures 143 et 144 indiquent les formes habituelles des cristaux d'albite simples et hémitropes.

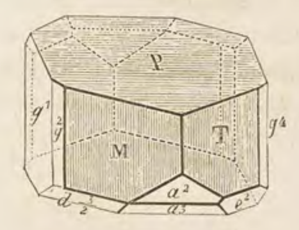


Fig. 143. — Albite.

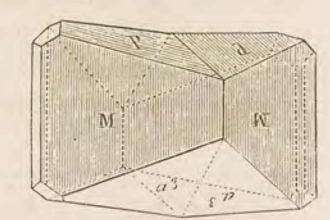


Fig. 144. — Cristal hémitrope.

Les cristaux d'albite du Dauphiné, du Tyrol, du Saint-Gothard, sont assez nombreux dans les collections, mais en réalité ce feldspath est beaucoup moins répandu que l'orthose.

On le trouve en cristaux accidentels dans les roches métamorphiques, en cristaux empâtés et disséminés dans certains granites avec les cristaux d'orthose, assez abondants dans les syénites, diorites et porphyres, enfin rassemblé en veines, filons et amas qui traversent ces diverses roches.

Certaines masses kaolineuses sont liées à des albites.

FELDSPATH OLIGOCLASE.

$$3AlSi^2 + (Na,K,Ca)Si^3.$$

Il existe des feldspaths moins silicatés que l'orthose et l'albite; on les a surtout remarqués dans certaines roches granitiques qui

contiennent des cristaux diversement colorés, appartenant à deux feldspaths distincts.

Des cristaux d'un gris jaunâtre qui tapissent des géodes dans les diorites d'Arendal en Norwége, peuvent être considérés comme types de l'espèce. Leur analyse a donné :

		OXYGÈNE.	RAPPORTS.
Silice...........	63,70	32,90	9
Alumine........	23,95	10,70	3
Chaux..........	2,55		
Soude	8,15	3,15	1
Potasse.........	1,20		

d'où l'on tire la formule $3AlSi^2 + (NaKCa)Si^3$.

La forme de ces cristaux est indiquée par la figure 145. Ils appartiennent au sixième système et sont allongés dans le sens transversal, de sorte que les faces *g* semblent y représenter des sommets.

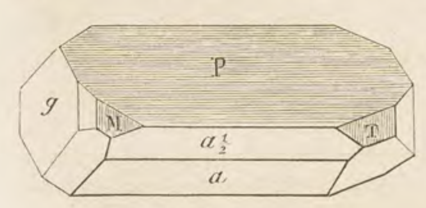


Fig. 145. — Oligoclase.

C'est un feldspath sensiblement moins silicaté que l'orthose et l'albite, contenant les trois bases chaux, soude et potasse, en proportions un peu variables, sans que les rapports changent avec l'alumine et la silice. On a constaté une composition analogue dans beaucoup de feldspaths, et l'on a distingué sous le nom d'*oligoclase*, cette espèce qui possède d'ailleurs quelques caractères minéralogiques spéciaux.

Sa dureté est la même que celle de l'albite ; même degré de fusibilité ; même inaltérabilité par les acides : même type cristallin.

La différence de l'espèce est surtout indiquée par l'existence d'un seul clivage facile, celui de la base ; le clivage diagonal est, en général, faiblement indiqué.

Dans les granites qui contiennent à la fois l'orthose et l'oligoclase, cette dernière espèce est généralement la moins colorée.

FELDSPATH LABRADORITE.

$3\ddot{A}l\ddot{S}i + (Ca,Na)\ddot{S}i^3$.

Enfin, il existe des feldspaths encore moins silicatés que l'oligoclase.

Le type de ces feldspaths est ordinairement pris sur les masses cristallines, lamelleuses, grises à reflets opalins, que l'on trouve sur la côte de Labrador, et que l'on recueille depuis longtemps comme pierre d'ornement.

On n'a point de cristaux assez nets et volumineux pour être déterminés, mais les analyses de masses lamelleuses indiquent une composition assez constante :

		OXYGÈNE.	RAPPORTS.
Silice...........	55,75	27,40	6
Alumine........	26,50	13,00	3
Chaux..........	11,25	3,70	1
Soude	4,50		
Oxyde de fer....	1,25		
Potasse, magnésie	traces.		

d'où la formule $3\ddot{A}l\ddot{S}i + (Ca,Na)\ddot{S}i^3$.

La dureté et la fusibilité restent les mêmes, il n'y a, comme dans l'oligoclase, qu'un seul clivage facile.

Le feldspath labradorite est attaquable par digestion dans l'acide chlorhydrique. Ainsi, en laissant un fragment de labradorite plongé dans l'acide pendant quelques jours, on le voit se recouvrir d'un enduit kaolineux, poreux et facile à désagréger, dont l'épaisseur augmente progressivement et finit par atteindre toute l'épaisseur.

Cette méthode de distinction du feldspath labradorite serait d'ailleurs peu pratique, si l'étude comparative des divers éléments qui constituent les roches ne fournissait un moyen plus rapide d'appréciation.

Le feldspath labradorite entre en effet comme élément constituant dans la composition des roches basiques, telles que les euphotides, les mélaphyres, les basaltes. On le trouve quelque-

fois à l'état compacte et doué d'une ténacité remarquable, qui a fait donner à ces variétés le nom de *jade* feldspathique.

Les analyses faites sur les feldspaths, notamment par M. Delesse, tendent à démontrer qu'il existe encore des variétés distinctes par les proportions de silice, d'alumine et d'alcali, sans que les caractères minéralogiques accusent ces différences de composition.

Il est cependant deux espèces minérales qui s'isolent nettement des autres : l'anorthite et le triphane.

ANORTHITE.

$3AlSi + (CaMg)Si.$

Couleurs. — Blanc limpide ; blanc mat : aspect vitreux.

Densité. — 2,75.

Dureté. — Rayée par le quartz ; raye l'apatite.

Formes cristallines. — Prismes obliques non symétriques, analogues à ceux de l'albite.

Deux clivages ; l'un parallèle à la base, l'autre au plan diagonal.

Fusible au chalumeau. Attaquable par digestion dans l'acide chlorhydrique.

L'anorthite est une substance accidentelle et même rare, qui se trouve en cristaux vitreux et limpides, quelquefois d'un blanc mat et lithoïdes. Les plus nets viennent des roches métamorphiques de la Somma où ils sont associés à des cristaux de pyroxène.

TRIPHANE.

$3AlSi^2 + LiSi^3.$

Couleurs. — Gris jaunâtre ; gris verdâtre, ordinairement opaque ; éclat un peu nacré.

Densité. — 3,14.

Dureté. — Raye le verre ; fait feu avec l'acier.

Formes cristallines. — Prismes rhomboïdaux obliques ; M/M = 87°, P/M = 100° ; généralement très-modifiés.

Un clivage très-facile parallèlement au plan diagonal ; un autre moins facile perpendiculaire au premier.

Fusible au chalumeau.

Le triphane est un véritable feldspath à base de lithine. On en reçoit de beaux cristaux de Norwich dans le Massachusetts. Une variété verdâtre et translucide, provient d'Utoë en Suède. C'est d'ailleurs une substance tout à fait accidentelle.

ROCHES FELDSPATHIQUES

Les feldspaths, orthose, albite, oligoclase, labradorite, forment la plupart des roches éruptives, soit seuls, soit associés au quartz et à divers silicates, tels que le mica, le talc, l'amphibole, le pyroxène, etc. Dans ces roches cristallines, les éléments sont en général distincts, et l'on voit presque toujours le feldspath dominer les autres.

Nous réunissons ces roches sous la dénominaiton de roches feldspathiques ; elles comprennent principalement les *granites*, les *porphyres*, les *trachytes* et les *laves volcaniques*.

Dans ces diverses classes se trouvent comprises des variétés assez nombreuses qui sont utilisées.

Granites. — Les roches désignées sous le nom de granites, sont généralement composées de feldspath, de quartz et de mica, en fragments cristallins, enchevêtrés de manière à former une roche solide. Quelquefois le mica est remplacé par de l'amphibole, et la roche prend alors le nom de *syénite*. Lorsque c'est le talc qui se substitue au mica, c'est une *protogyne*.

Le feldspath est toujours l'élément très-dominant des granites ; le mica, beaucoup moins abondant, est très-marqué sur les cas-

sures, par ses clivages miroitants et ses couleurs vives, tandis que le quartz, ordinairement clair-semé en grains arrondis et translucides, se distingue par son éclat vitreux, des faces lamelleuses du feldspath. L'amphibole est caractérisée par les formes allongées de ses cristaux et par son éclat moindre que celui du mica; le talc, par sa couleur verte et par l'absence de clivages.

Tous ces éléments cristallins sont en général petits et enchevêtrés, de manière à s'égrener sous le choc du marteau.

Accidentellement, il se développe dans ces milieux cristallins de grands cristaux de feldspath, qui font donner à ces variétés le nom de *granites porphyroïdes*.

Les granites les mieux agrégés sont souvent exploités comme pierres d'appareil. Ainsi, on peut voir à Paris les granites de Normandie rose et gris, porphyroïdes, employés pour les trottoirs; le granite gris de Laber, en Bretagne, servant de soubassement à l'obélisque, qui est lui-même en granite rose d'Égypte.

Le granite à feldspath rouge, contenant environ un dixième de grains disséminés de quartz translucide, avec autant de mica noir en veinules réticulées, que l'on appelle granite antique et que l'on trouve en colonnes ou vases, etc., à Rome, et dans tous les musées, provient presque toujours d'Égypte.

Les granites exploités à Baveno, roses et riches en quartz, sont également employés comme roches d'ornement.

Les syénites des Vosges, à feldspath rouge et gris jaunâtre, amphibole vert noirâtre, quartz peu abondant, peuvent rivaliser avec le granite antique.

Les protogynes du Mont Blanc, avec feldspath blanc très-lamelleux, talc vert, quartz violacé, fournissent de très-belles pierres d'appareil. Les hauteurs où elles se trouvent ne permettent pas de les exploiter sur place, mais les blocs amenés par les glaciers suffisent largement aux besoins du pays.

Accidentellement les granites perdent leur mica, et ne sont plus composés que de feldspath et de quartz; ils constituent alors les roches appelées *pegmatites*.

Les pegmatites ont une tendance à contenir des fragments

très-volumineux des éléments constituants et à former des granites dits à grandes parties. Elles se lient souvent, aux gîtes de kaolins que l'on a attribués, dans quelques contrées, à la décomposition des feldspaths, tandis que dans d'autres, les kaolins sont considérés comme des feldspaths imparfaits.

Parmi les variétés de pegmatites se trouvent les granites *graphiques*, dans lesquels le feldspath, en cristallisant, a donné au quartz mélangé, des formes linéaires et anguleuses, qui présentent sur certaines plaques polies, l'apparence de caractères hébraïques.

Ce sont les pegmatites, qui fournissent aux arts céramiques les quantités considérables de feldspath qui se consomment aujourd'hui ; le feldspath s'y isole, en effet, en veines et en nodules cristallins, plus ou moins volumineux.

Dans quelques contrées, les roches granitiques présentent une variété plus rare, dans laquelle le feldspath est presque éliminé ; cette variété, composée presque exclusivement de grains de quartz et de mica cristallin enchevêtrés, est celle que l'on désigne sous la dénomination de *greisen*. Elle a quelque célébrité dans la chaîne de l'Erzgebirge (entre la Saxe et la Bohême), parce qu'elle y est assez développée et contient sur quelques points de l'oxyde d'étain et du wolfram.

Les éléments de toutes ces roches, granites, syénites, protogynes, pegmatites, greisens, sont à l'état tout à fait cristallin ; ils se présentent donc avec tous leurs caractères minéralogiques, de telle sorte qu'on peut les étudier et reconnaître que le feldspath est presque constamment de l'orthose. Souvent on distingue dans ces roches, des feldspaths diversement colorés, et l'on reconnaît que l'orthose est quelquefois mélangé d'oligoclase, ou remplacé par l'albite. On voit aussi, par un examen attentif, que beaucoup de minéraux accidentels se montrent en petits cristaux interposés. Le grenat, le zircon, le sphène, la tourmaline, la pinite, le fer oxydulé, etc., se rencontrent ainsi sur beaucoup de points.

La coloration et la variété des feldspaths et des micas, leurs proportions variables, ainsi que celle du quartz, le volume très-

variable des éléments cristallins, enfin les substances accidentelles qui peuvent se trouver mélangées aux éléments principaux, donnent aux granites une très-grande diversité. En examinant les collections, on distingue facilement les types les plus remarquables, fournis par les granites de Bretagne, de Normandie, des Pyrénées, des Vosges, de la Saxe; par les syénites des Vosges, des environs de Dresde, par la syénite zirconienne de Norwége, par les protogynes des Alpes et du Forez.

Chaque masse granitique culminante est toujours accompagnée de roches métamorphiques qui, suivant l'ancienne expression, forment un manteau qui enveloppe sa base. La nature minéralogique de ces roches dépend en général de la nature du granite lui-même.

Ainsi, pour un granite proprement dit, ce sont les *gneiss* et les *micaschistes;* les gneiss, composés de feldspath et d'une petite quantité de mica qui rend la roche plus ou moins schistoïde; le micaschiste, composé de mica, de quartz et d'un peu de feldspath qui tantôt est disséminé en petites particules dans les feuillets de la roche, et tantôt s'isole en fragments, autour desquels le schiste micacé se contourne, de manière à déterminer une structure amygdaline. Considérant l'ensemble des strates de gneiss et de micaschistes superposés aux masses granitiques, on y retrouve les éléments des granites eux-mêmes, probablement remaniés et stratifiés par les eaux, mais auxquels la chaleur centrale a pu encore imprimer les caractères cristallins du métamorphisme.

Les syénites qui ne forment que des masses subordonnées aux granites, n'ont réagi sur les roches métamorphiques qu'en y introduisant quelques variétés locales, qu'on peut appeler gneiss ou schistes amphiboliques; mais les protogynes qui occupent des espaces bien plus considérables, à l'exclusion des granites, sont accompagnées de roches métamorphiques spéciales, c'est-à-dire de *gneiss talqueux* ou *stéachistes* et de *schistes talqueux* et *chlorités.*

Dans les Alpes, le passage des véritables protogynes cristallines aux gneiss talqueux, est tellement ménagé, qu'il est difficile

de tracer la ligne qui sépare les deux roches. On les distingue par la disparition dans les gneiss, du quartz violacé, qui semble s'être concentré dans les schistes talqueux supérieurs. L'action sédimentaire paraît en effet, avoir concentré dans les schistes, le quartz, que les actions métamorphiques ont fait en quelque sorte cristalliser à nouveau, en y développant des substances accidentelles, telles que l'épidote, la chlorite, l'oxyde de titane, le molybdène sulfuré, etc...

Il en est de même des beaux minéraux cristallisés de la Norwége et d'autres contrées : on les trouve plutôt dans les roches métamorphiques, superposées aux granites et aux syénites, que dans les roches régulièrement cristallines, que l'on peut considérer comme formant le noyau éruptif.

Porphyres. — Les roches porphyriques forment une série minéralogique encore plus variée que celle des granites et sont pourtant composées des mêmes éléments; mais les proportions ne sont pas les mêmes et les différences de la texture établissent une distinction, confirmée par un âge géologique postérieur.

L'élément dominant des roches porphyriques est une pâte compacte, diversement colorée, ayant tous les caractères d'un feldspath compacte. Cette pâte est en effet composée des mêmes principes avec une surcharge variable de silice et d'oxyde de fer. Dans la pâte, se développent des cristaux de feldspath, et quelquefois de substances accessoires, telles que le quartz, l'amphibole, le mica, etc.

La nature des substances qui se développent et s'isolent en cristaux plus ou moins nets, indiquent évidemment la composition de la pâte.

Lorsque la pâte est sans cristaux, elle est homogène, compacte, dure et scintillante, à cassure conchoïdale; c'est ce que l'on désigne particulièrement sous la dénomination d'*Eurite* ou de *Petrosilex*.

Les meilleurs types de porphyres, sont ceux qui viennent de Suède et de Norwége, où ils sont employés comme roches d'ornement, en plaques, vases, colonnes, etc...; ce sont des roches

à pâte très-serrée, rougeâtre, brune ou même noirâtre, contenant de petits cristaux blancs ou jaunâtres qui sont attribués à l'oligoclase.

Ces porphyres sont susceptibles d'un très-beau poli, à cause de la finesse de leur grain ; on les appelle des *porphyres feldspathiques*, car tout y est feldspath, pâte et cristaux.

On trouve de beaux porphyres du même type dans les Vosges, où ils sont désignés sous le nom d'Eurite et d'Eurite porphyroïde. Les cristaux de feldspath y sont parfaitement formés et même, un peu translucides, dans certaines variétés; les pâtes, de couleurs très-diverses, sont le plus souvent rougeâtres, jaunes, grises ou noires; elles contiennent accidentellement de petits cristaux d'amphibole et de mica.

Les *porphyres quartzifères* sont évidemment plus siliceux, même dans leur pâte, puisque le quartz s'isole en petits grains arrondis et cristallins. Ces porphyres abondent dans les Vosges et dans le centre de la France, notamment dans les montagnes des environs d'Autun, de Roanne, de Clermont, etc...

Le porphyre le plus commun est d'un jaune sale, à pâte peu serrée, cassure inégale, petits cristaux de feldspath d'un jaune un peu plus clair que la pâte, petits grains de quartz translucide et vitreux, cristaux accidentels de mica, de pinite, de tourmaline et d'amphibole.

La pâte est colorée, dans quelques variétés, en rouge par l'oxyde de fer, en noir ou en vert par l'amphibole ou le mica ; alors les cristaux se détachent mieux sur la pâte, et la roche prend un caractère encore plus porphyrique.

Les porphyres, quartzifères ou feldspathiques, sont ordinairement en dykes, en masses arrondies formant des buttes isolées, et accompagnées, vers leurs limites, de roches de contact métamorphiques, qui ont tantôt le caractère de porphyre un peu terreux, qui leur a fait donner le nom d'*argilophyres*, et d'autres fois un aspect fragmentaire, qui les fait désigner sous le nom de *porphyres bréchiformes*.

Les argilophyres peu l'apparence d'argile endurcie ; la cassure

de la pâte est grenue et terreuse, et les cristaux qui se sont développés dans certaines parties leur donnent le caractère porphyrique. Le type le plus rapproché du véritable porphyre est l'argilophyre, connue sous le nom de *porphyre rouge antique*. Lorsque la roche est polie, c'est un véritable porphyre; mais si on la brise, on voit que la pâte, finement grenue et inégale, un peu poreuse, n'a pas réellement le grain serré ni la cassure esquilleuse du pétrosilex.

Cette argilophyre est la plus rapprochée du porphyre; à l'autre extrémité de la série se trouverait la pâte grossière, poreuse et presque sans cristaux, des argilophyres des Vosges.

Le caractère de roche métamorphique et de contact, est plus évident encore, pour les porphyres bréchiformes. Ce sont de véritables conglomérats de frottement, dont les fragments, soudés ensemble, ont pris par le métamorphisme, les apparences plus ou moins complètes du porphyre éruptif.

Il paraît aujourd'hui démontré pour l'ensemble de la série des roches porphyriques, que les porphyres sont d'autant plus anciens, qu'ils sont plus riches en quartz; d'autant plus modernes, par conséquent, qu'ils sont plus riches en bases.

L'oligoclase domine dans les porphyres feldspathiques, et la série géognostique des porphyres se termine par les porphyres les moins siliceux de tous, les *porphyres labradoriques*.

On a souvent désigné la série des roches porphyriques sous les dénominations d'*orthophyres, oligophyres* et *labradophyres;* dénominations excellentes, s'il était possible ou facile de distinguer ainsi les trois feldspaths dans les roches.

La plupart des *porphyres labradoriques* ont été classés avec les métaphyres, classification justifiée, lorsque l'on considère le point de vue géologique, mais non lorsqu'il s'agit de classer les roches d'après leurs caractères minéralogiques. Dans les porphyres labradoriques, l'élément dominant et presque exclusif doit être le labrador.

Les porphyres labradoriques des Vosges à pâte compacte, vert foncé ou noirâtre, avec cristaux de labradorite blancs ou blancs verdâtre, sont les types des labradophyres.

Le porphyre d'Égypte, dit *vert antique*, employé comme pierre d'ornement dans beaucoup de monuments anciens, est encore un excellent type de ce porphyre, d'ailleurs beaucoup moins répandu que les autres. Sa texture fine, sa cassure conchoïdale, souvent esquilleuse, sa dureté qui est celle du feldspath, et les cristaux mâclés de labrador, définissent parfaitement sa composition. Dans la pâte colorée en vert plus ou moins foncé, nagent quelques petits cristaux de pyroxène.

Roches trachytiques. — Le groupe nombreux des roches trachytiques est si complétement représenté dans le centre de la France, que nous pouvons choisir dans cette contrée (qui comprend les monts du Cantal, la chaîne du Mezenc, les Monts Dores et une partie des monts Dômes) les types qui se retrouvent dans toutes les parties du globe.

Le trachyte proprement dit peut être cité, par exemple, dans la masse qui constitue le pic de Sancy, point culminant des Monts Dores. C'est une roche porphyroïde, à pâte feldspathique, grenue et rude au toucher, grise, brune ou violacée, contenant des cristaux de feldspath, d'un blanc vitreux, à clivages très-fendillés. Cette roche n'a plus la consistance du feldspath, elle ne fait pas feu au choc du marteau.

La pâte devient quelquefois claire, grise ou jaunâtre, plus souvent elle se fonce jusqu'au brun et au noir, et contient de petits cristaux d'amphibole. Elle est plus compacte ou plus terreuse; de là, un assez grand nombre de variétés. Quant au feldspath, la quantité ou la grosseur des cristaux varient, mais les caractères vitreux et frittés persistent presque toujours. Que l'on examine les trachytes des bords du Rhin et notamment ceux si connus du Drachenfels, les trachytes de la Hongrie ou des Andes cordillères, et l'on sera frappé de la similitude de ces roches qui marquent évidemment une époque géologique spéciale.

Ce qui est surtout remarquable, c'est que les trachytes ne se distinguent guère de certains porphyres, par leur composition; la pâte est un feldspath très-impur, les cristaux sont de l'orthose; mais les caractères minéralogiques sont tellement diffé-

rents, qu'il n'y a aucune confusion possible entre les deux roches.

Le trachyte terreux que l'on appelle *Domite*, parce qu'il constitue entièrement la masse du Puy-de-Dôme, est une des meilleures expressions des trachytes, parce que c'est l'exagération de leurs caractères. C'est une pâte rude et terreuse, se taillant facilement, et exploitée comme pierre de construction; cette pâte ne contient qu'accidentellement de petits cristaux de feldspath. On suppose que les trachytes du Puy-de-Dôme et de trois petits dômes, de même nature, qui l'avoisinent, sont sortis à l'état pâteux, en s'accumulant au-dessus de leurs orifices d'éruption. C'est la même origine que l'on attribue aux immenses dômes trachytiques des Cordillères, tels que le Chimborazo et le Carguairazo qui était en partie creux; ce dernier, s'est écroulé.

Certains trachytes sont tellement terreux, qu'ils sont réduits à l'état de cendres. Tels sont quelques trachytes de la grande cascade du Mont-Dore-les-Bains, incohérents et en cendres grises, de laquelle on peut extraire les cristaux mâclés d'orthose vitreux dit Ryacolite.

Les *tufs trachytiques* et *ponceux*, roches poreuses, tendres, contenant souvent des débris de ponces, sont les cendres et les scories qui ont accompagné l'éruption des trachytes; ces roches sont généralement stratifiées et remaniées par les eaux.

Dans la plupart des groupes de montagnes trachytiques, on trouve des roches vitreuses, désignées sous les dénominations de *rétinites*, *obsidiennes* ou *perlites*.

Les rétinites sont des roches semi-vitreuses, dont la cassure a seulement l'aspect résineux. C'est la pâte feldspathique fondue, qui n'a pu prendre par un refroidissement assez lent la texture semi-cristalline des roches. Il en est de même des obsidiennes qui ne se rencontrent qu'en masses circonscrites, en dykes ou en petits amas. Les perlites expliquent encore mieux l'effet de fusion complète qui s'est produit sur de petits noyaux vitreux, arrondis, sans affecter l'ensemble de la roche qui prend l'aspect de rétinite ou de trachyte ordinaire.

Les roches vitreuses des trachytes, sont toujours accompagnées de parties ponceuses ou de ponces; véritables scories feldspathiques produites par le passage des gaz à travers les laves en fusion.

Les *Phonolites* forment dans les montagnes trachytiques des masses subordonnées dont l'origine est presque toujours le résultat de phénomènes spéciaux et controversés. Ce sont principalement des pics, dont les formes élancées et l'isolement sont partout remarqués. Toutes les sommités de la chaîne du Velay, dont le Mezenc est le point culminant, sont composées de diverses variétés de phonolites.

Les phonolites sont des roches feldspathiques grises ou brunes, généralement compactes, accidentellement porphyroïdes avec cristaux de feldspath et d'amphibole; souvent caractérisées par une structure schisteuse prononcée qui permet de les débiter facilement en plaques ou pierres plates et sonores (d'où vient ce nom de phonolite). On y trouve des parties qui se débitent même en plaques assez minces pour être employées comme pierres tégulaires. Cette propriété explique le nom de roche Tuilière, donné à un phonolitique pic du Mont Dore.

Les variétés schisteuses, présentent dans un sens une cassure lisse et facile et dans un autre sens une cassure inégale et arrachée. Cette structure paraît provenir d'une sorte de stratification des cristaux de feldspath. Dans certaines variétés compactes, la cassure est céroïde, comme celle des pétrosilex. Enfin, toutes les fois que la roche devient porphyroïde par le développement visible des cristaux, elle perd la structure schistoïde et devient massive ou grossièrement prismatique comme les trachytes compactes.

Ce qui est à remarquer, c'est que les phonolites schisteux sont presque tous attaquables par digestion dans l'acide chlorhydrique; ils seraient donc en grande partie composés de labradorite, ou de substances attaquables, associées à l'orthose. Les phonolites pétrosilex résistent beaucoup mieux à l'action des acides.

Cette série de roches volcaniques, se termine par les laves feldspathiques et autres produits des volcans éteints ou brû-

lants. Les laves ne sont pas toutes de cette nature, il en est beaucoup qui appartiennent plutôt aux roches pyroxéniques, mais dans la majeure partie, c'est encore l'élément feldspathique, le labrador, qui domine.

La lave de Volvic (Puy-de-Dôme), qui sert de pierre de construction à Clermont-Ferrand, et qui a été longtemps employée pour les trottoirs de Paris, est un type de lave feldspathique : pâte gris violacé, criblée de cellules à parois déchiquetées, ayant toute la dureté du feldspath, contenant accidentellement de très-petits cristaux de labrador.

Les laves feldspathiques, très-celluleuses, peuvent être employées pour la fabrication des meules à moudre le blé ; la lave de Niedermenig, près Andernach, sur les bords du Rhin, est, d'un emploi avantageux, sous ce rapport, comme pour tous les usages de construction.

L'Etna a produit des laves grises, qui sont presque entièrement composées de labrador très-finement cristallisé. Dans la plupart des laves du Vésuve, le feldspath labrador est mélangé d'une certaine proportion de pyroxène qui cristallise aussi par le refroidissement.

Les laves feldspathiques ont leurs roches vitreuses ou obsidiennes. Les volcans de l'Islande, de Ténériffe et des îles Éoliennes, présentent des séries d'obsidiennes et de rétinites ayant l'apparence de laitiers; ils produisent aussi des ponces isolées ou mélangées aux obsidiennes et aux laitiers. Ces roches sont d'autant plus intéressantes qu'en retraçant dans tous leurs détails, les phénomènes de fusion, de coulée et de scorification, elles expliquent en quelque sorte l'origine des mêmes roches appartenant à la période trachytique.

Beaucoup d'analyses faites sur des obsidiennes, donnent des proportions variables de silice et d'alumine, el aux, oxyde de fer, etc., de manière à démontrer que l'état vitreux n'est pas le résultat d'une composition déterminée ; ce n'est qu'un accident physique de fusion et de refroidissement. Du reste, ces roches ne couvrent pas de grandes étendues, et sont plutôt subordonnées aux autres laves.

Ce qui est à remarquer, c'est que l'état vitreux comme l'état cristallin, détermine souvent des centres d'attraction; il se forme des boules dont le centre est une masse vitreuse autour de laquelle se contournent les roches lithoïdes ou scoriacées. Les perlites de la période trachytique, sont l'expression de cette propriété, sur une petite échelle.

La couleur la plus ordinaire de l'obsidienne, est un noir foncé, translucide sur les bords, on en trouve également de verte et de grise, de jaunâtre ou rougeâtre. Lorsqu'elle affecte ces couleurs, l'obsidienne reproduit les apparences diverses des laitiers de nos hauts fourneaux.

AMPHIGÈNE.

$3AlSi^2 + KSi^2$.

Couleurs. — Blanc opaque, blanc jaunâtre, blanc rougeâtre.

Densité. — 2,43.

Dureté. — Raye difficilement le verre.

Formes cristallines. — Le trapézoèdre.

Point de *clivages;* cassure conchoïdale; éclat vitreux lorsque la substance est translucide; éclat semi-vitreux de la porcelaine lorsque les échantillons sont d'un blanc laiteux et opaque.

L'amphigène est presque toujours en cristaux, c'est-à-dire en trapézoèdres bien formés, et, par conséquent, faciles à reconnaître. Il se trouve ainsi dans certaines laves, notamment au Vésuve.

Les cristaux les plus gros et les mieux isolés, proviennent des scories volcaniques de Roccamonfina, près Capoue. La figure 146 est le dessin réduit de moitié d'un de ces groupes cristallins d'amphigène trapezoèdre.

Les laves dans lesquelles l'amphigène associé au pyroxène remplace le feldspath, sont antérieures à la période volcanique

actuelle. Cependant, à certaines époques, et notamment en



Fig. 146. — Amphigène trapézoèdre de Roccamonfina.

1834, le Vésuve a produit des laves amphigéniques et rejeté avec les scories de petits cristaux d'amphigène translucide.

NÉPHÉLINE.

$3AlSi + (NaK)Si.$

Couleurs. — Blanc translucide ou mat; quelquefois grise ou verdâtre; éclat vitreux.

Densité. — 2,35.

Dureté. — Raye difficilement le verre; substance fragile.

Formes cristallines. — Prismes hexagonaux réguliers, simples ou modifiés.

Indices fréquents de *clivage*, parallèlement aux faces du prisme hexagonal; cassure vitreuse et inégale.

Fusible au chalumeau. Soluble en gelée dans les acides.

La néphéline, en cristaux bien caractérisés, provient ordinai-

rement des roches métamorphiques de la Somma, au Vésuve; mais elle se trouve dans quelques roches subordonnées, appelées *néphélinites*. Ces roches paraissent composées de néphéline associée au pyroxène; elles prennent quelquefois l'apparence porphyrique et l'on distingue dans leur pâte, la forme hexagonale de la néphéline.

A l'état compacte, la néphéline constitue l'*éléolite* ou *pierre grasse,* substance verte, rose ou jaunâtre, qui possède un éclat gras tout à fait caractéristique, et qui existe en veines et nodules cristallins dans quelques syénites de Norwége.

WERNÉRITE.

Méionite. $3AlSi + CaSi$.

Couleurs. — Blanc limpide ou mat, pour la variété dite méionite; gris jaunâtre ou verdâtre, pour les variétés opaques et lithoïdes.

Densité. — 2,65.

Dureté. — Rayée par le feldspath; raye l'apatite.

Formes cristallines. — Prismes carrés, surmontés d'un pointement; prismes à huit pans, souvent cylindroïdes.

Clivages indécis, parallèles aux pans du prisme.

Facilement fusible au chalumeau, en émail blanc. Soluble en gelée dans les acides.

La wernérite ne se trouve en cristaux bien nets, que dans les géodes cristallines des dolomies de la Somma. On désigne cette variété transparente ou translucide, sous le nom de *méionite*.

A l'état lithoïde, la wernérite cristallise encore sous la forme de prismes carrés ou cylindroïdes et bacillaires; elle est opaque, un peu lamelleuse, et rappelle d'autant mieux les apparences d'un feldspath, qu'elle tend à former des roches. Il existe en Suède de véritables diorites à base de wernérite.

GROUPE DES GEMMES ALUMINEUSES.

Les silicates alumineux que l'on désigne sous la dénomination de gemmes, sont des substances qui ne se présentent qu'à l'état cristallin ; à cassure vitreuse ; transparentes ou translucides ; remarquables en général par leur dureté. Ces substances sont souvent recherchées, à cause de leurs couleurs, pour la joaillerie ou l'ornement.

L'émeraude, la topaze, le grenat, sont des types auprès desquels viennent se grouper des espèces moins bien caractérisées.

ÉMERAUDE.

$AlSi^3 + GlSi^2$.

Couleurs. — Incolore, limpide ; vert d'eau limpide ; vert plus ou moins foncé, translucide.

Densité. — 2,70.

Dureté. — Raye le quartz.

Formes cristallines. — Prismes hexagonaux réguliers, simples ou modifiés.

Un clivage difficile, parallèle à la base du prisme ; cassure vitreuse dans les autres sens.

Infusible au chalumeau. Inattaquable par les acides.

L'émeraude incolore la plus pure, contient 16 d'alumine et 14 de glucine ; une quantité d'oxyde de fer inférieure à un centième suffit pour la colorer en vert, vert bleuâtre ou jaunâtre, et constituer ce qu'on appelle le *béryl* ou *aigue marine*. Un tiers pour cent d'oxyde de chrôme lui donne la couleur verte qui la fait rechercher pour la joaillerie.

L'émeraude verte vient de la Nouvelle-Grenade ; on la recher-

che par de véritables travaux d'exploitation, dans un calcaire spathique, où elle se trouve accidentellement en cristaux isolés ou tapissant de petites géodes.

Les cristaux sont toujours faciles à reconnaître comme appartenant à des prismes hexagonaux réguliers. Les modifications les plus ordinaires forment des bordures sur les arêtes de la base, ou des troncatures sur les angles trièdres. La figure 147, reproduction exacte d'un béryl cristallisé de Sibérie, fait voir la réunion de ces deux modifications sur un prisme dont les arêtes sont également modifiées.



Fig. 147. — Émeraude.

L'émeraude d'un vert intense et velouté, dite de première couleur et sans glaces ni givres, atteint, lorsqu'elle est un peu volumineuse, des prix excessifs. Le béryl a beaucoup moins de valeur.

Il existe des émeraudes opaques et lithoïdes qui présentent pourtant des formes cristallines. On en trouve de très-volumineuses aux environs de Limoges ; leurs prismes hexagonaux cannelés ont souvent plus d'un décimètre de diamètre.

TOPAZE.

$3\ddot{A}l\dddot{S}i + Al^2Fl.$

Couleurs. — Incolore, transparente, jaune topaze, jaune paille, verdâtre.

Densité. — 3,50.

Dureté. — Raye le quartz.

Formes cristallines. — Prismes droits rhomboïdaux sous l'angle M/M = 124°. Les prismes sont ordinairement terminés par des biseaux et souvent modifiés sur les arêtes.

Un *clivage* facile, parallèlement à la base du prisme; cassure inégale et vitreuse dans les autres sens.

Infusible au chalumeau. Inattaquable par les acides.

Les analyses de topaze sont d'une constance remarquable, et accusent toutes : 34 de silice, 58 d'alumine et 7 à 8 pour 100 d'acide fluorhydrique.

La topaze du Brésil est la variété la plus recherchée pour sa belle couleur jaune, qui provient d'une petite proportion d'oxyde de fer. Lorsqu'on soumet cette variété à la chaleur rouge, la topaze devient d'un rose un peu violacé, et constitue ce qu'on appelle la *topaze brûlée*.

Les topazes du Brésil arrivent en prismes pyramidés, allongés, terminés par les sommets caractéristiques du troisième système. La figure 148 est la forme d'un de ces cristaux dont les deux sommets ne sont pas complétement identiques, ce qui arrive quelquefois dans les prismes allongés.

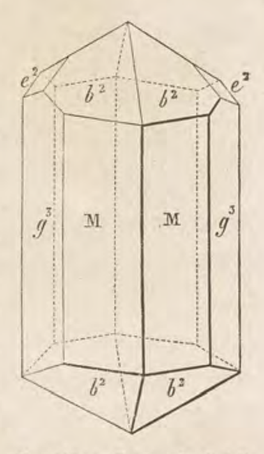


Fig. 148. — Topaze du Brésil.

La topaze de Saxe est en prismes courts, jaune-paille, dont le sommet est simplement bordé de troncatures. Ces cristaux forment, dans certaines roches, des géodes cristallines avec le quartz. On trouve aussi, dans les mêmes roches, de la topaze fibreuse et bacillaire, à laquelle on a donné le nom de *topaze picnite*.

Les cristaux de topaze les plus volumineux, viennent de Sibérie, et la figure 149 représente les formes principales de ces cristaux, qui sont transparents, avec une teinte verdâtre ou jaunâtre.

Les prismes sont en général à surfaces cannelées et brillantes. Les biseaux des sommets sont plus lisses, mais un peu ternes. Dans beaucoup d'échantillons, les angles E sont tronqués par des facettes plus ou moins développées.

Toutes ces variétés sont caractérisées d'une manière très-nette par le clivage parallèle à la base, et par la grande densité de la

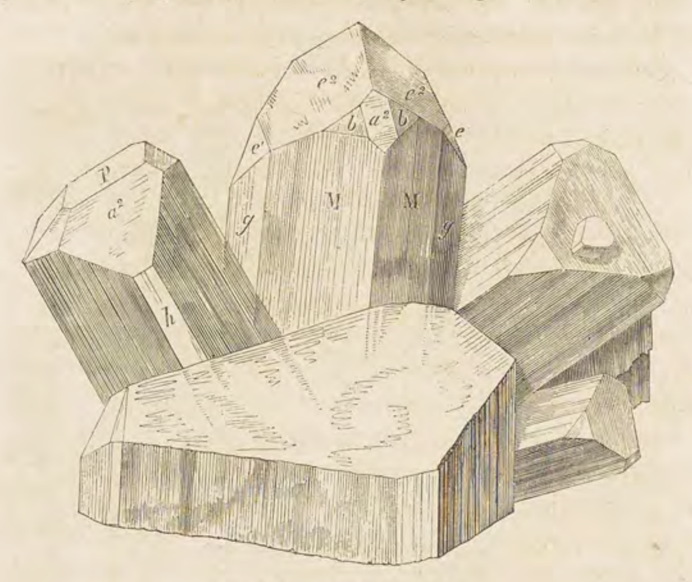


Fig. 149. — Topazes de Sibérie.

topaze, caractères qui permettent de la distinguer de tous les quartz jaunes avec lesquels on l'imite.

GRENATS.

$(AlFe)Si + (Ca,mn,fe)Si.$

Les grenats ont une composition très-variée par l'isomorphisme des bases. L'alumine peut être remplacée en grande partie par le peroxyde de fer, et, parmi les bases à un atome d'oxygène, la chaux et les protoxydes de fer ou de manganèse, peuvent dominer successivement.

La prédominance de chacune des bases, modifie les conditions de couleur, de densité et de dureté des grenats, sans modifier leur cristallisation. Trois variétés principales se distinguent par leur couleur.

Le *grenat* **almandin** $AlSi+feSi$ est rouge foncé.

Le *grenat* **grossulaire** $AlSi+CaSi$ est jaunâtre.

Le *grenat* **mélanite** $(AlFe)Si+(mnfeCa)Si$es t noir.

Les analyses qui ont donné lieu à ces formules sont nombreuses ; on peut les résumer en nombres ronds, par les exemples suivants :

	ALMANDIN.	GROSSULAIRE.	MÉLANITE.
Si.........	39	40	37
Al.........	20	21	7
Fe........	2	»	22
Ca........	3	34	27
fe.........	33	2	»
mn........	2	2	6
Mg........	1	»	1

Le grenat *almandin* est à la fois le plus répandu et le plus nettement caractérisé; c'est le seul qui se présente souvent en cristaux vitreux et translucides, caractères qui indiquent une composition bien définie. Ses caractères sont :

Couleur. — Rouge violacé, translucide ou opaque.

Densité. — 3,90 à 4,20.

Dureté. — Raye légèrement le quartz.

Formes cristallines. — Dodécaèdres rhomboïdaux réguliers ; dodécaèdres émarginés ; trapézoèdres.

Point de clivages. — Cassure vitreuse, prenant quelquefois l'apparence lamelleuse par suite de fissures ou délits qui n'ont aucun rapport avec la cristallisation.

Fusible au chalumeau en émail noir. Inattaquable par les acides.

Le grenat *grossulaire* est le grenat à base de chaux ; il est ordinairement jaune ou verdâtre, quelquefois d'un rouge clair assez éclatant. Il fond plus difficilement au chalumeau ; est attaquable par digestion dans l'acide chlorhydrique. Sa pesanteur spécifique n'est que de 3,50; il est moins dur que l'almandin.

Les plus belles variétés de grossulaire viennent de Wilhui en Sibérie, et d'Ala en Piémont.

Le grenat *mélanite* ou ferrugineux, est rouge brun, résineux, et souvent noir. Il pèse 3,80 ; il est rayé par le quartz ; il se dissout en très-grande partie dans l'acide chlorhydrique.

Les plus beaux grenats noirs viennent de Frascati, des Pyrénées, d'Arendal en Norwége.

Il existe encore d'autres variétés de grenats qui rentrent à peu

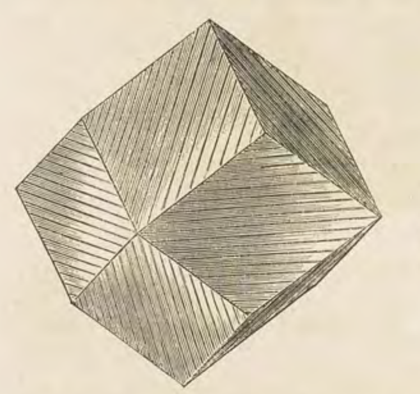


Fig. 150. — Grenat dodécaèdre.

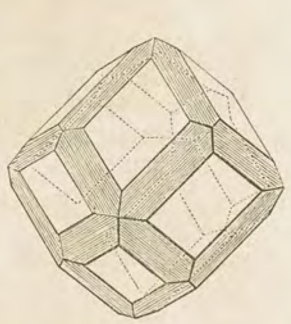


Fig. 151. — Grenat dodécaèdre émarginé.

près dans les précédentes, et qui résultent de substitutions des bases isomorphes. D'autres fois, un principe nouveau vient ajouter aux complications de ces substitutions. Tel est le grenat titanifère de Norwége.

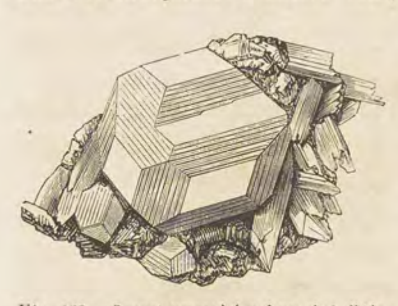


Fig. 152. — Grenat grossulaire émarginé d'Ala.

Tous ces grenats cristallisent en dodécaèdres rhomboïdaux ou en trapézoèdres.

Les trapézoèdres sont ordinairement simples, mais les grenats dodécaèdres (*fig.* 150 et 151) sont très-souvent émarginés sur leurs arêtes. Cette modification se produit par une seule troncature, et quelquefois, par deux ou trois qui se coupent sous des angles obtus et émoussent complétement les angles.

La figure 152 est un grenat grossulaire émarginé d'Ala, avec des stries très-accusées, indiquant les décroissements qui déterminent ses troncatures.

La figure 153 représente un grenat dodécaèdre formé par l'ac-

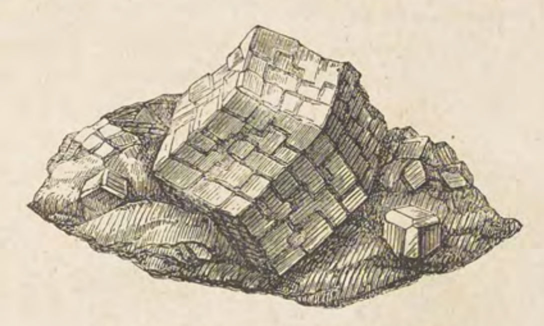


Fig. 153. — Grenat dodécaèdre de Sibérie.

colement de dodécaèdres plus petits, tous semblables et légèrement émarginés.

Le grenat almandin se rencontre souvent en cristaux empâtés par les roches métamorphiques; ses cristaux venant à s'oblitérer forment des nodules arrondis, surtout dans les micaschistes, et déterminent une structure amygdaline. Certaines serpentines contiennent aussi des grenats disséminés dans leur pâte.

IDOCRASE.

Couleurs. — Vert olive, vert jaunâtre, brun; éclat vitreux ou résineux.

Densité. — 3,40.

Dureté. — Égale à celle du quartz; raye le verre.

Formes cristallines. — Prisme droit à base carrée; prismes carrés modifiés sur les arêtes et sur les angles.

Point de clivages. — Cassure un peu inégale et d'aspect résineux. Fusible au chalumeau. Inattaquable par les acides.

L'idocrase a presque la même composition que le grenat, ce qui a fait dire à plusieurs minéralogistes que cette substance était dimorphe.

Elle est remarquable par les formes nettes quoique souvent complexes de ses cristaux. La figure 154 représente une idocrase d'Ala, verte, translucide, en prisme carré modifié simultanément sur les arêtes des bases, par les faces naissantes d'un octaèdre,

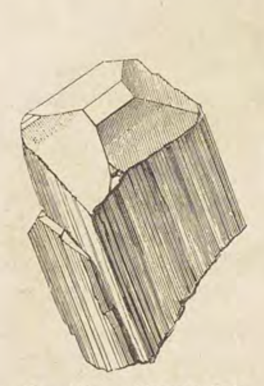


Fig. 154. — Idocrase d'Ala.

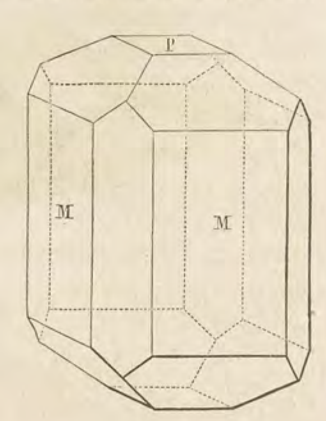


Fig. 155.

et sur les arêtes du prisme par des facettes et des stries qui tendent à le transformer en prismes à huit pans, ainsi que l'indique la figure théorique 155.

On trouve de très-beaux cristaux d'idocrase d'un vert foncé et opaque, à Wilhui en Sibérie, sous la forme (*fig.* 155).

Au Vésuve, dans les roches métamorphiques de la Somma, l'idocrase en cristaux bruns et très-éclatants, forme des géodes très-recherchées.

ÉPIDOTE.

$2\ddot{A}l\ddot{S}i + (\dot{C}a\dot{f}e)\ddot{S}i.$

Couleur. — Vert; vert olive; rarement transparente, quelquefois translucide.

Densité. — 3,30.

Dureté. — Égale à celle du quartz ; raye le verre.

Formes cristallines. — Prisme oblique non symétrique; prismes bacillaires avec sommets ordinairement dièdres.

Point de clivages. — Cassure inégale, un peu céroïde.

Fusible au chalumeau.

Les beaux cristaux d'épidote viennent d'Arendal, en Norwége. Ce sont des prismes hexagonaux terminés par des sommets dièdres ou quadrangulaires. La figure 156 indique la forme la plus habituelle de ces cristaux.



Fig. 156. — Épidote, prismes à sommets dièdres, d'Arendal.

Les prismes d'épidote ont une tendance à se canneler et à former des cristaux bacillaires. On trouve dans les roches métamorphiques du Dauphiné des groupes d'épidote bacillaire qui sont dans toutes les collections.

Les épidotes de l'Argentière (Savoie) en cristaux et masses bacillaires enclavées et comprimées dans le quartz violacé des protogynes ; celles d'Ala en cristaux transparents, sont encore des spécimens remarquables.

Quelquefois l'épidote compacte, disséminée dans les roches feldspathiques quartzeuses, est assez abondante pour être considérée comme principe constituant.

Il existe deux variétés d'épidote qui diffèrent d'une manière notable de ce type : l'épidote **zoïsite**, grise, un peu lamelleuse, qui est à base d'alumine et de chaux ; l'**épidote manganésifère**, qui est d'un beau violet.

Ces deux variétés sont rares. On ne connaît qu'un seul gîte d'épidote manganésifère, à Saint-Marcel, dans le val d'Aoste; on la recherchait autrefois en exploitant le minerai de fer auquel elle est associée. Une variété de cette épidote manganésifère, désignée sous la dénomination de *violane*, a été appliquée à quelques emplois d'ornement.

CORDIÉRITE.

$3\ddot{A}l\ddot{S}i + (\dot{M}g\dot{f}e)\ddot{S}i^2$.

Couleur. — Bleu foncé, vitreux et translucide; bleu opaque; souvent *dichroïte* et d'un jaune gris lorsqu'on la regarde perpendiculairement à l'axe.

Densité. — 2,60.

Dureté. — Raye facilement le verre.

Formes cristallines. — Prisme droit rhomboïdal, M/M = 120°. Prismes hexagonaux réguliers.

Point de clivages. — Cassure vitreuse, inégale et ondulée.

Difficilement fusible au chalumeau. Inattaquable par les acides.

La cordiérite ou dichroïte est une substance rare; les plus beaux échantillons vitreux, viennent de Ceylan et du Groenland; on les a employés sous la dénomination de *saphirs d'eau.*

Des cristaux d'un bleu presque noir se trouvent à Bodenmais, en Bavière, où ils sont associés à la pyrite magnétique.

TOURMALINE.

$(Al, Fe, Ca, Mg, Li, K, Na) Si Bo$?

Couleurs. — Ordinairement vertes ou noires; accidentellement brunes, rouges, roses et même blanc rosé. Les tourmalines peu colorées sont souvent translucides et même transparentes; les brunes et les noires sont opaques. Éclat vitreux.

Densité. — 3,05.

Dureté. — Raye facilement le quartz.

Formes cristallines. — Prismes à 6, 9, 12 pans, avec sommets dérivés du rhomboèdre de 133°.

Point de clivages. — Cassure vitreuse, inégale et souvent résineuse.

Au chalumeau, les variétés noires, vert foncé et brunes, se fondent difficilement; les variétés faiblement colorées, rouges et roses sont infusibles. Inattaquables par les acides.

Les tourmalines ont une composition très-complexe et variable. Ce sont des silicates à bases multiples, contenant de 35 à 44 pour 100 de silice et 3 à 9 d'acide borique.

L'alumine est la base essentielle, il y en a 30 à 40 pour 100. Les autres bases sont : l'oxyde de fer, qui de 0 dans les rouges monte à 5 et 7 pour 100 dans les vertes, à 10 et 24 pour 100 dans les brunes ou les noires; la potasse, qui varie de 1 à 10 pour 100 et qui est remplacée quelquefois par la soude ; la lithine, de 2 à 5 dans les rouges et les vertes, mais qui disparaît dans les variétés noires chargées de potasse ; enfin la chaux, la magnésie et l'oxyde de manganèse, qui varient de 0 à 5 pour 100.

Les analyses ne semblent pas indiquer une espèce unique, et l'on ne peut guère en résumer les chiffres par une formule; mais les propriétés minéralogiques, nettes et absolues, réunissent toutes les espèces, malgré les variations des bases secondaires, potasse, soude ou lithine, dans une espèce des mieux caractérisées.

Le premier caractère, la forme cristalline, est d'autant plus net que les tourmalines sont toujours cristallisées. Les prismes à faces multiples de 3 paraissent souvent triangulaires, parce que trois faces *e* symétriquement placées autour de l'axe, venant à se développer, déterminent avec les faces *d* qui les coupent sous des angles très-obtus, trois pans convexes (*fig.* 157). Les prismes cannelés et bacillaires conservent souvent cette apparence triangulaire.

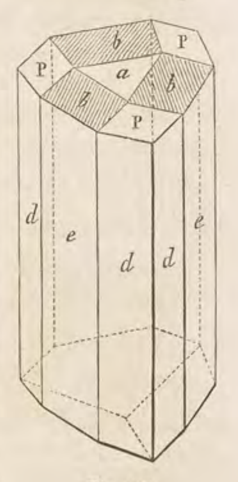


Fig. 157.

Les prismes de tourmaline sont en général très-allongés, surtout lorsqu'elles sont petites et disséminées dans les roches.

Les sommets sont en général très-nets et d'un caractère rhomboédrique facile à reconnaître.

L'exemple (*fig.* 158) représente une grosse tourmaline avec les faces du rhomboèdre primitif qui forment un sommet trièdre, et trois modifications sur les arêtes. Le prisme, un peu cylindroïde, présente trois faces nettes de peu d'étendue raccordées par trois courbes de manière à rappeler la disposition triangulaire précitée.

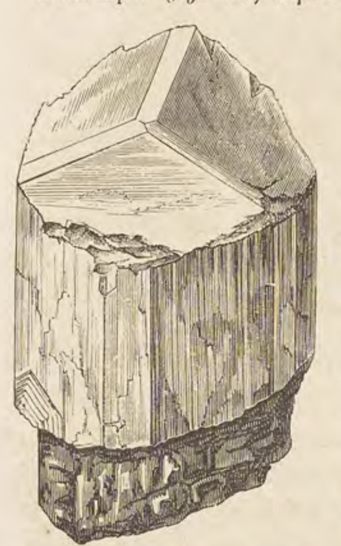


Fig. 158. — Tourmaline noire opaque.

Un second exemple (*fig.* 159) dessiné d'après une tourmaline de Sibérie, est caractérisé par la troncature du sommet, déterminant une face triangulaire perpendiculaire à l'axe du cristal.

La figure théorique 157 précédemment citée, explique les caractères cristallins de ces prismes et de leurs sommets. Elle met en évidence la section triangulaire du prisme déterminé par la prédominance de trois faces appartenant au prisme hexagonal placé sur les angles du rhomboèdre, combinées avec les six faces du prisme placé sur les arêtes.



Fig. 159. — Tourmaline translucide de Sibérie.

Elle indique, en outre, un fait spécial, souvent constaté dans les tourmalines qui ont deux sommets, c'est leur dyssymétrie.

On voit qu'un des deux sommets porte les faces primitives P, avec une modification triple sur les arêtes *b* et une troncature triangulaire *a*, perpendiculaire à l'axe; tandis que le sommet opposé est simplement formé par les trois faces du rhomboèdre primitif.

La tourmaline s'électrise par la chaleur, et la position des pôles électriques concorde toujours avec celle des sommets plus ou moins modifiés.

La tourmaline transparente jouit encore d'une propriété remarquable et souvent utilisée. Des plaques taillées parallèlement à l'axe, éteignent un rayon polarisé; si donc on reçoit un rayon de lumière à travers deux de ces plaques croisées à angle droit, les surfaces croisées ne laissent plus passer de lumière et sont obscures. Lorsqu'on interpose entre deux plaques de tourmaline ainsi taillées et croisées, une lame appartenant à un cristal qui possède la double réfraction, la lumière est rétablie et le croisement obscur redevient transparent. De là une application intéressante de la tourmaline, dans les expériences relatives à la double réfraction.

Les tourmalines sont toujours largement représentées dans les collections où l'on remarquera surtout :

Les tourmalines incolores de l'île d'Elbe, ainsi que les variétés roses ou vertes, colorations qui se mélangent souvent dans le même prisme. Ces tourmalines se trouvent, ainsi que les variétés noires, dans les géodes cristallines des granites de Campo ;

Les tourmalines vertes dans les dolomies du Saint-Gothard ; les vertes transparentes, translucides et quelquefois dichroïtes du Brésil, employées pour les expériences de double réfraction ; les vertes opaques du Massachusetts, aux États-Unis ;

Les tourmalines rouges translucides ou opaques, dites *rubellites* de Sibérie, ainsi que les variétés brunes ;

Les tourmalines noires opaques de toute provenance, mais surtout les prismes longs, triangulaires, vitreux, d'Espagne, recherchés pour les expériences d'électricité par la chaleur ; les gros cristaux, un peu grenus, du Groenland, empâtés dans des micas et des chlorites ; les gros cristaux à section triangulaire d'Arendal, etc.

Ces diverses variétés se présentent en cristaux, en prismes cylindroïdes ou bacillaires.

Les tourmalines noires sont quelquefois assez abondantes dans certaines roches subordonnées, quartzeuses ou feldspathiques,

des terrains granitiques, pour qu'on n'ait pu les considérer comme éléments constituants.

PREHNITE.

$$3AlSi + Ca^2Si^3 + Aq.$$

Couleur. — Vert translucide; éclat vitreux.

Densité. — 2,90.

Dureté. — Raye le verre et l'apatite.

Formes cristallines. — Prisme droit rhomboïdal de 100°.

Sans clivages. — Cassure inégale et vitreuse.

Fusible au chalumeau. Soluble en gelée dans les acides.

La prehnite se trouve en prismes primitifs, aplatis et lamelleux; plus souvent, en prismes modifiés, sous forme de lames hexagonales allongées, empilées les unes à côté des autres en divergeant, de manière à former des crêtes saillantes tout à fait caractéristiques, que l'on désigne sous la dénomination



Fig. 160. — Prehnite flabelliforme.

de *prehnite flabelliforme* (*fig.* 160). La prehnite existe aussi en nodules radiés.

La prehnite est une substance tout à fait accidentelle, cristalline et généralement subordonnée à des roches trappéennes.

Celles du Dauphiné, de Kilpatrick en Écosse, du cap de Bonne-Espérance, du lac Supérieur, présentent des identités

très-remarquables de couleur, de cristallisation et de structure flabelliforme.

LAPIS-LAZULI.

Lazulite. Haüyne.

Couleur. — Bleu dit d'outremer.

Densité. — 2,95.

Dureté. — Raye le verre.

Formes cristallines. — Dodécaèdre rhomboïdal régulier.

Point de clivages. — Cassure grenue et inégale.

Fusible au chalumeau en perdant sa couleur. Soluble en gelée dans les acides.

La composition du lapis lazuli est encore indécise. Les analyses considérées comme exprimant la composition la plus probable, indiquent : 36 pour 100 de silice, 34 d'alumine, 23 de soude, 3 de soufre et un peu de chaux. Tous ces éléments, la chaux exceptée, paraissent essentiels à sa composition, sans qu'on ait pu établir une formule certaine.

Les cristaux sont excessivement rares. Le lapis, si bien caractérisé, comme espèce, par sa couleur d'un bleu intense, est presque toujours mélangé de pyrite de fer disséminée en particules cristallines et d'un jaune brillant, et de spath calcaire qui lui sert de gangue.

Le plus beau lapis vient des environs du lac Baikal, en Sibérie, où il paraît former des nodules et des veines dans un filon rempli de spath calcaire et de pyrite.

Le lapis du Chili est d'un bleu plus clair et souvent altéré par divers mélanges ; il est de même disséminé dans un spath calcaire, mais beaucoup moins estimé.

On emploie le lapis en joaillerie et dans l'ornement ; les variétés les plus mélangées de spath calcaire, sont broyées et lavées pour la fabrication de l'outremer naturel, couleur toujours d'un prix très-élevé.

La substance appelée **haüyne**, doit être considérée comme une variété de lapis-lazuli.

Elle se trouve dans un assez grand nombre de roches volcaniques, en petits cristaux bleus, ou bleuâtres, vitreux et translucides.

Les cristaux d'haüyne rayent le verre et leur forme se rapporte au dodécaèdre régulier; ils pèsent 2,6 et se comportent de même que le lapis au chalumeau et dans les acides.

Les analyses accusent les mêmes éléments constituants, mais avec de très-grandes variations dans les proportions, qui en rendent la formule tout aussi incertaine. On considère le plus souvent la *haüyne* comme une espèce distincte, à cause de son gisement particulier dans des roches volcaniques où elle est disséminée en cristaux rares et très-petits.

AXINITE.

$$2(Al,Fe,Mn)Si^3 + (Ca,K,Mg)Bo.$$

Couleurs. — Brun violacé, translucide; blond; verdâtre; éclat vitreux.

Densité. — 3,25.

Dureté. — Raye le verre et l'apatite.

Formes cristallines. — Prismes obliques, non symétriques, P/M = 135°, P/T = 115°, M/T = 135°.

Deux clivages difficiles. — Cassure inégale et vitreuse.

Fusible au chalumeau avec bouillonnement, indication du manganèse par le borax. Inattaquable par les acides.

L'axinite, substance accidentelle dans quelques roches métamorphiques, est remarquable par ses belles cristallisations dont les angles dièdres, aigus et tranchants, sont signalés par sa dénomination dérivée de *hache*.

La forme primitive est toujours très-dominante dans ces cristaux; quelques variétés portent seulement de petites facettes sur les angles et surtout sur les arêtes.

La figure 161 représente un de ces groupes de cristaux, provenant des roches métamorphiques de l'Oisans.

Dans ce groupe, le caractère non symétrique des prismes

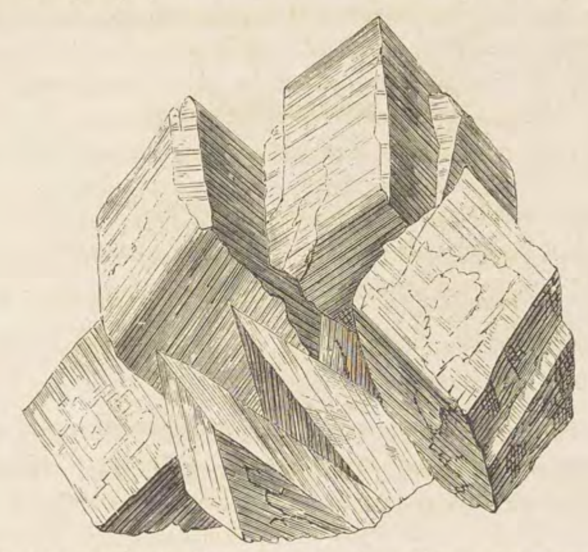


Fig. 161. — Axinite, de l'Oisans, groupe de prismes obliques non symétriques.

obliques, est indiqué par les facettes qui coupent les arêtes H, conformément à la figure théorique 41, page 67.

ZÉOLITES ALUMINEUSES.

Le groupe minéralogique des zéolites est des plus naturels. Il comprend des silicates alumineux hydratés, de couleurs claires, hyalins ou translucides, ayant à la fois peu de dureté et peu de densité; solubles dans les acides; donnant de l'eau au chalumeau, et d'une décomposition facile par leur fusion avec le phosphate double, de manière à laisser un squelette de silice.

Ces substances sont toutes accidentelles; elles forment des cristaux disséminés dans les roches trappéennes ou volcaniques, et surtout dans les fissures et les géodes des roches métamorphiques en contact.

Les zéolites auraient été à peine remarquées, si leurs belles cristallisations ne les avaient toujours fait rechercher; elles ne sont d'aucune utilité, mais les caractères cristallographiques suffisent pour jeter de l'intérêt sur un grand nombre d'entre elles.

MÉSOTYPE.

$3AlSi + (NaCa)Si^3 + 3Aq.$

Couleurs. — Blanc laiteux, translucide ou mat.

Densité. — 2,25.

Dureté. — Raye le spath calcaire ; rayé par l'acier.

Formes cristallines. — Prismes droits rhomboïdaux sous l'angle de 91°, généralement pyramidés.

Point de clivages. — Cassure inégale et un peu vitreuse.

Au chalumeau, fusible avec bouillonnement. Soluble en gelée dans l'acide azotique.

La mésotype était appelée autrefois *zéolite radiée*, parce qu'on la trouve surtout dans les roches basaltiques, en petits nodules fibreux et radiés; quelquefois en petites géodes garnies de prismes aciculaires, dont les sommets semblent dirigés vers le centre de la cavité dont ils tapissent les parois.

Au Puy-Marmant, près Vayre, entre Clermont et Issoire, se trouvent les plus belles cristallisations de mésotype qui ornent les collections.

Ce sont des prismes qui ont été pendant longtemps considérés comme prismes droits à base carrée, mais qui sont en réalité des prismes droits rhomboïdaux de 91°, surmontés de pyramides à quatre faces surbaissées.

La figure 162 représente un exemple de ces cristallisations prismatiques de Marmant.

Quelquefois les prismes de la mésotype sont à six pans, et démontrent ainsi que les cristaux dérivent du prisme droit rhomboïdal.

Les géodes prismatiques de mésotype se trouvent dans un grand nombre de roches basaltiques, à Rochemaure sur les bords du

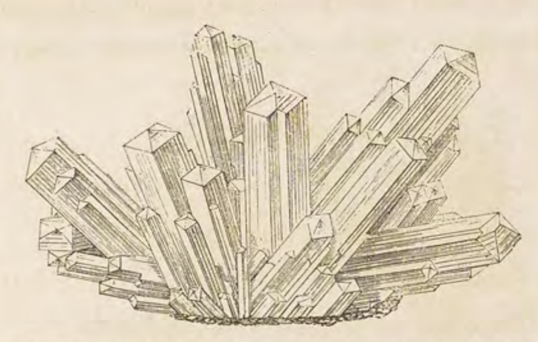


Fig. 162. — Mésotype d'Auvergne, groupe de prismes droits rhomboïdaux.

Rhône, à Linz sur le Rhin; mais le plus souvent les prismes sont très-petits et aciculaires.

On a donné le nom de **scolézite** à une variété de mésotype aciculaire, dans laquelle la chaux remplace presque entièrement la soude.

Toutes ces zéolites fibreuses, aciculaires, prismatiques, en nodules radiés et quelquefois compactes, auxquelles on a donné des noms différents, ne constituent probablement qu'une même espèce.

STILBITE.

$$3AlSi^3 + (CaNa)Si^3 + 6Aq.$$

Couleurs. — Blanc mat, éclat nacré.

Densité. — 2,15.

Dureté. — Raye le spath calcaire; rayée par l'apatite.

Formes cristallines. — Prismes droits rhomboïdaux de 94°, modifiés en prismes à six pans très-aplatis.

Un clivage diagonal, facile, rend la substance lamelleuse.

Les plus beaux cristaux de stilbite ont été trouvés dans les

tufs volcaniques de Feroë, et dans les roches trappéennes de Pounah dans les Indes. Ils sont terminés par un pointement à quatre faces, sur lequel subsiste quelquefois une petite facette rhombique qui est la base P (*fig.* 163).



Fig. 163. — Stilbite de Feroë.

On a trouvé la stilbite dans les géodes cristallines des filons d'Andreasberg, au Hartz.

Il existe une variété de stilbite rouge foncé, qui provient de Fahlun, en Dalécarlie, et qui doit sa couleur à une proportion d'environ 4 pour 100 de peroxyde de fer, substituée à une quantité correspondante d'alumine. La forme des cristaux reste exactement la même.

HEULANDITE.

$$4AlSi^3 + CaSi^3 + 6Aq.$$

Couleur. — Blanc ; éclat nacré, plus vif que celui de la stilbite.

Densité. — 2,15.

Dureté. — Raye le spath calcaire ; rayée par l'apatite.

Formes cristallines. — Prismes rhomboïdaux obliques de 97°, modifiés en prismes à six ou à huit pans.

Un clivage très-facile suivant la face g' lui donne une cassure lamelleuse. Souvent ces clivages paraissent concaves ou convexes par suite d'une disposition flabelliforme et divergente des cristaux.

Au chalumeau, fusible, avec bouillonnement ; donne de l'eau.

Les beaux cristaux de heulandite viennent des tufs volcaniques de Feroë, où ils sont associés à la stilbite. Le plus souvent ils sont en lames superposées, dans lesquelles domine la face g, terminée

latéralement par la face P et par les modifications *a* et *b*. Dans quelques géodes, les prismes sont complétement développés, ainsi que l'indique la figure 164.

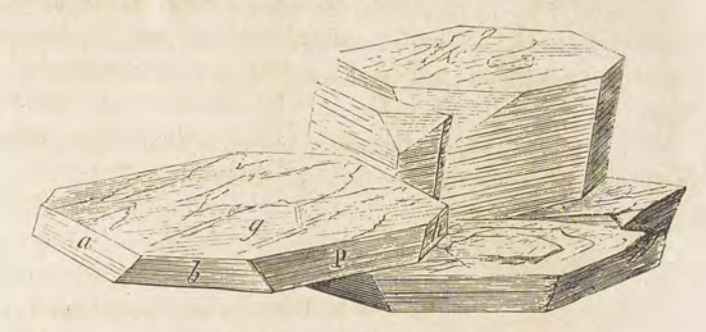


Fig. 164. — Heulandite de Feroë.

Il existe dans les roches trappéennes de Fassa, une variété de *heulandite rouge*, ferrugineuse, dont les formes cristallines sont tout à fait identiques à celles de la heulandite blanche.

LAUMONITE.

$$3AlSi^2 + CaSi^2 + 4Aq.$$

Couleurs. — Blanc laiteux, blanc jaunâtre ou rougeâtre; éclat nacré.

Densité. — 2,35.

Dureté. — Entre celle du spath calcaire et celle du gypse.

Formes cristallines. — Prismes rhomboïdaux obliques dont les angles sont : M/M = 95°; P/M = 115°.

Trois clivages faciles, deux parallèles aux faces M, et un diagonal; cassure très-lamelleuse.

Fusible au chalumeau. Soluble dans l'acide sulfhydrique.

La laumonite se rencontre ordinairement en prismes bacillaires. Elle est très-fragile, se délite à l'air, et tombe à l'état de

poudre d'un blanc mat, ce qui lui a fait donner le nom de zéolite efflorescente. Elle a été découverte parmi les gangues du filon de Huelgoat, en Bretagne.

Récemment on l'a rencontrée en assez grande abondance, à l'état lithoïde et lamelleux, en nodules et veines, dans les roches trappéennes et parmi les gangues du cuivre natif du lac Supérieur.

A Cormayeur, dans le val d'Aoste, on trouve, dans les fissures de roches schisteuses micacées, des cristaux complets et peu délitables.

CHABASIE.

$$3AlSi^2 + (Ca,K,Na)Si^3 + 6Aq.$$

Couleurs. — Blanc translucide et nacré, rose et rougeâtre.

Densité. — 2,10.

Dureté. — Entre celle du feldspath et celle de l'apatite ; raye difficilement le verre.

Formes cristallines. — Rhomboèdres de 95°, simples ou mâclés.

Point de clivages. — Cassure vitreuse et inégale.

Fusible au chalumeau. Dans les acides, soluble à chaud, en gelée.

La chabasie est une des zéolites les plus répandues dans les roches trappéennes et volcaniques. La forme primitive et dominante, donne une uniformité remarquable aux géodes cristallines de toutes les provenances ; les plus remarquables sont celles de Feroë, d'Aussig en Bohême, de la Nouvelle-Écosse, etc.

Fig. 165. — Chabasie, rhomboèdre modifié.

Lors même que les cristaux de chabasie portent des modifications, les faces rhomboè-

dre primitif restent en général dominantes ainsi qu'il est indiqué figure 165; les modifications sur les six arêtes *b*, et sur les six angles *e*, résument d'une manière tout à fait précise les caractères cristallographiques du quatrième système.

Dans les géodes cristallines d'Aussig en Bohême, on remarque des cristaux très-complexes, qui présentent beaucoup d'angles rentrants; la figure 166 représente un de ces groupements où les rhomboèdres modifiés sur les angles *e* sont groupés symétriquement autour du même axe, de manière à présenter sur chaque sommet une série de six angles saillants et de six angles rentrants, formés par les faces primitives P.

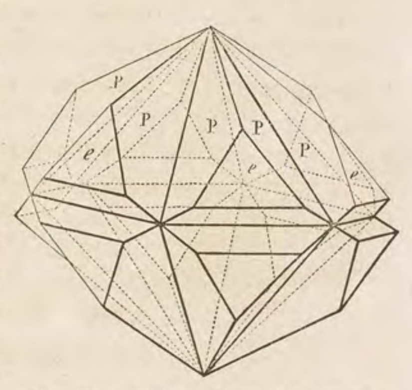


Fig. 166. — Chabasie. Rhomboèdres groupés symétriquement autour d'un axe commun.

ANALCIME.

$$3AlSi^2 + NaSi^2 + 2Aq.$$

Couleurs. — Blanc hyalin, blanc mat, rose rougeâtre.

Densité. — 2,10.

Dureté. — Rayée par le feldspath ; raye l'apatite.

Formes cristallines. — Cube; cubes triépointés; hexatétraèdres.

Clivages douteux. — Cassure vitreuse dans les variétés hyalines, inégale et grenue dans les variétés lithoïdes.

Fusible au chalumeau. Soluble en gelée dans l'acide chlorhydrique.

Les cristaux d'analcime en cubes triépointés, et en trapézoèdres, l'ont fait remarquer depuis longtemps aux îles Cyclopes,

dans des laves dont cette zéolite paraît être un élément constituant. Les cristaux hyalins, à faces éclatantes, y tapissent des géodes.

La figure 167 représente la forme dominante de ces cristaux limpides des îles Cyclopes.

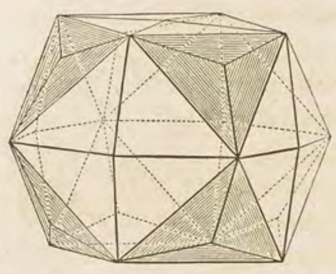


Fig. 167. — Analcime, cube triépointé, réunissant les faces de l'hexatétraèdre et du trapézoèdre.

Cette forme, qui conserve les caractères du noyau cubique, se compose de vingt-quatre faces d'un hexatétraèdre surbaissé et de vingt-quatre faces d'un trapézoèdre.

A Fassa, l'analcime est opaque, mais les cristaux sont beaucoup plus volumineux ; les trapézoèdres y atteignent quelquefois $0^m,06$ ou $0^m,08$ de diamètre.

La spécialité de l'espèce est précisée d'une manière d'autant plus remarquable, que l'analcime est la seule zéolite appartenant au système cubique. Quant à la composition, si elle diffère peu de celle de la chabasie ou de la heulandite, cela prouve qu'il suffit de très-faibles variations dans la proportion des éléments, pour constituer une espèce minérale.

HARMOTOME.

$$3AlSi^3 + BaSi^3 + 6Aq.$$

Couleurs. — Blanc laiteux ; blanc jaunâtre ou rosé ; éclat semi-vitreux.

Densité. — 2,45.

Dureté. — Raye le spath fluor ; rayée par l'apatite.

Formes cristallines. — Prismes droits rhomboïdaux pyramidés. Prismes mâclés cruciformes.

Deux clivages faciles suivant la base P et la face g' ; deux clivages difficiles suivant les faces M.

Difficilement fusible au chalumeau. Lentement attaqué par l'acide chlorhydrique.

L'harmotôme est à la fois distincte des autres zéolites par la présence de la baryte et par sa cristallisation exceptionnelle.

On la trouve en très-beaux cristaux maclés dans les filons d'Andreasberg, au Hartz. La forme dominante est celle de prismes droits, groupés autour d'un axe commun, de telle sorte que la section transversale du groupement présente la forme d'une croix ; d'où est venue la dénomination d'*harmôtome cruciforme.* Ce groupement caractéristique est représenté figure 168.

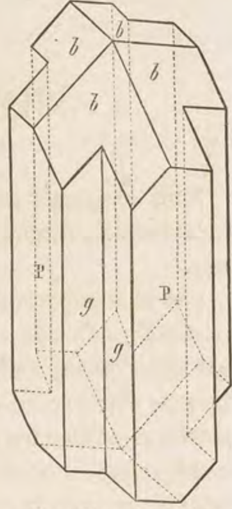


Fig. 168. — Harmotôme cruciforme.

L'harmotôme existe également parmi les zéolites des terrains trappéens, notamment à Oberstein en Bavière, soit au cap Strontian en Écosse. Dans ces deux localités, on trouve à la fois des prismes simples pyramidés, et des groupements maclés.

*

SILICATES TRAPPÉENS

Nous désignons ainsi les silicates *non alumineux*, ou du moins dans lesquels l'alumine n'existe que par des mélanges accidentels.

Les plus importants des silicates de cette série, sont à bases isomorphes de chaux, de magnésie et de protoxyde de fer, et, par conséquent, moins oxygénés que les silicates alumineux. Ils sont caractérisés par des couleurs vertes ou noires, et sont parties constituantes de roches éruptives basiques, c'est-à-dire moins riches en quartz que celles qui sont formées par les silicates alumineux. On désigne ces roches basiques sous la dénomination générale de *roches trappéennes.*

Les silicates trappéens peuvent être divisés en quatre groupes, où se trouvent réunies les espèces analogues par leur composition, par leurs caractères physiques ou par leurs conditions de gisement. Ces quatre groupes sont :

1° Les **silicates de magnésie** qui représentent l'élément le plus simple de la série :

SILICATES DE MAGNÉSIE.	Magnésite..........	$MgSi^3+2Aq$
	Talcs et stéatites....	$3Mg^2Si^3+2Aq$
	Serpentine.........	

2° Les **pyroxènes** et les **amphiboles**, groupe qui comprend les espèces les plus importantes de la série. Ces espèces, associées aux feldspaths, forment, en effet, la plus grande partie des roches trappéennes et volcaniques.

Pyroxènes et amphiboles.	Wollastonite........	$CaSi^2$
	Diopside............	$CaSi^2+(Mgfe)Si^2$
	Augite.............	$CaSi^2+feSi^2$
	Hypersthène........	$(Mgfe)Si^2$
	Diallage............	$(MgCafe)Si^2$
	Trémolite..........	$CaSi^3+3MgSi^2$
	Actinote. Hornblende	$CaSi^3+3(feMg)Si^2$
	Yenite.............	$3(feCaMn)Si+Fe^2Si$

3° Le groupe des **gemmes** est peu nombreux dans la série des silicates trappéens ; il comprend :

Gemmes.......	Zircon..............	$ZrSi$
	Sphène............	$CaSi+Ti^2Si$
	Péridot.............	$(Mgfe)Si$

4° Enfin, quant aux **zéolites** ou silicates hydratés, nous y mentionnerons seulement deux espèces.

Zéolites......	Apophyllite.........	$8CaSi^3+KSi^6+16Aq$
	Datholite...........	$CaSi^4+CaBo^3+Aq$

Les gemmes et les zéolites sont des substances accidentelles; les silicates magnésiens, les pyroxènes et les amphiboles sont seuls éléments constituants des roches.

MAGNÉSITE.

$MgSi^3+2Aq$.

Substance blanche, grenue, légère et poreuse; happant fortement à la langue. Fait difficilement pâte avec l'eau. Soluble dans les acides.

La magnésite ne présente aucune apparence de cristallisation. Elle forme de petites couches dans certains dépôts tertiaires. Dans ces couches se trouvent accidentellement des nodules plus purs et plus solides, que l'on désigne sous le nom d'*Écume de mer*.

En Styrie, il existe une magnésite impure, exploitée

comme roche réfractaire pour la construction des fourneaux.

L'écume de mer vient principalement des côtes de Crimée et d'Asie Mineure ; elle paraît en quantité très-restreinte, puisque les prix se maintiennent très-élevés. La magnésite impure est, au contraire, abondante, il en existe une petite couche dans les marnes supérieures des calcaires siliceux, aux environs de Paris.

TALC. STÉATITE.

$$3Mg^2Si^5+2Aq.$$

Couleurs. — Blanc verdâtre ; vert clair ; vert foncé ; éclat un peu nacré et gras.

Densité. — 2,50.

Dureté. — Rayé par l'ongle, doux et onctueux au toucher.

Point de formes cristallines. — Quelques lames translucides avec des indices de clivages, paraissent indiquer un prisme rhomboïdal, sous l'angle de 113°.

Un clivage facile existe dans quelques variétés les plus pures et translucides qui se clivent en lames flexibles, mais non élastiques. Les stéatites ne sont pas clivables.

Infusible au chalumeau. Inattaquable par les acides.

Le talc lamelleux, translucide et pur, est une substance tout à fait accidentelle, que l'on trouve en veinules et nodules ; mais le talc moins pur, opaque et sans apparence de tissu lamelleux, abonde dans les protogynes et dans les stéaschistes.

Il n'est pas possible de séparer les talcs, dont la composition est assez variable, des *stéatites* qui présentent des analyses presque identiques, et ne se distinguent des talcs que parce qu'elles sont à l'état compacte.

La stéatite ne cristallise jamais et se rencontre seulement, dans certains cas, en échantillons fibreux. Le plus souvent, c'est une substance compacte, savonneuse au toucher, ayant les

mêmes caractères de densité et de dureté que le talc, mais que les analyses semblent indiquer comme un peu plus riche en silice.

La stéatite est plus répandue que le talc, et s'isole en masses assez considérables. On s'en sert sous la dénomination de *craie de Briançon*, soit en morceaux, comme crayons pour tracer, soit en poudre comme substance douce et facilitant les frottements.

La *pierre ollaire* de Chiavenna, talc ou stéatite tout à fait compacte, est souvent employée sous diverses formes, et notamment sous celle de vases résistant à l'action du feu.

Le talc et la stéatite sont, dans la série des silicates trappéens, ce que sont les micas et les chlorites, dans la série des silicates alumineux.

Ils remplissent, en effet, dans certaines roches éruptives, le même rôle d'élément clair-semé et subordonné, s'isolant de même, accidentellement, en veines et nodules. Ils attestent, dans les roches trappéennes qu'ils accompagnent spécialement, l'absence de l'alumine et la prédominance de la magnésie.

La stéatite, en vertu de son peu de dureté, est facile à couper et à tailler. Beaucoup de petits objets sculptés, en stéatites jaunâtres ou vertes, très-compactes, sont envoyés de Chine.

SERPENTINE.

Couleurs. — Vert jaunâtre; vert noirâtre; aspect céroïde.

Densité. — 2,50 à 2,65.

Dureté. — Rayée par le spath calcaire.

Point de formes cristallines. — Quelques variétés fibreuses semblent seulement indiquer une tendance à cristalliser.

Point de clivages. — Cassure inégale, esquilleuse et céroïde. La serpentine est assez tenace, et, quoique tendre, n'est pas douce au toucher comme le talc.

Infusible au chalumeau, donne de l'eau par calcination, attaquable par digestion dans les acides.

La serpentine ainsi définie, est ce que l'on appelle la *serpentine noble ;* elle s'isole en rognons et veines, dans des serpentines moins pures, qui forment des roches massives et très-développées.

Les analyses faites même sur les serpentines nobles, n'ont pas assez de constance pour autoriser une formule ; elles indiquent : 40 à 45 pour 100 de silice ; 35 à 38 de magnésie ; 12 à 13 d'eau ; 2 à 7 de protoxyde de fer.

La *serpentine-roche* est plus chargée d'oxyde de fer, et quelquefois de manganèse ; elle contient fréquemment d'autres substances qui s'isolent dans la pâte. C'est le plus souvent le diallage, lamelleux et disséminé, qui lui donne un aspect porphyroïde ; beaucoup plus rarement de petits nodules de grenats ou de chlorite. Souvent la stéatite s'y isole en veinules, surtout dans les fissures ; quelquefois en masses subordonnées et volumineuses.

Les serpentines sont éruptives, les formes de leurs masses, les soulèvements et les transformations métamorphiques des terrains soulevés, les assimilent aux roches trappéennes dont elles font partie. On les trouve dans presque toutes les grandes chaînes de montagnes, et particulièrement sur les versants méridionaux des Alpes, dans la chaîne métallifère de la Toscane, dans l'île d'Elbe, dans les Vosges, au cap Lizard en Cornwall, etc.

Dans tous ces gîtes, la serpentine a pour caractère les formes qui peuvent résulter du peu de fluidité dont elle est susceptible ; elle constitue des montagnes, des pitons qui semblent sortis à l'état solide ou à peine pâteux. Leurs masses sont entourées de conglomérats de frottement ou *gabbros*, ou de variétés de serpentines très-fissurées dans le sens du glissement, les surfaces des fissures étant polies et striées, comme si elles avaient servi elles-mêmes de plans de glissement.

Les actions métamorphiques et de contact prouvent que les

serpentines avaient la chaleur ordinaire des roches éruptives.

Dans quelques variétés, le fer passe à l'état de peroxyde et colore la serpentine en rouge; c'est un effet qui s'est produit très-fréquemment dans les gabbros de contact et qui résulte probablement des vapeurs qui ont traversé ces masses.

Sur quelques points, les serpentines se chargent d'éléments feldspathiques, et forment des roches mélangées. Des euphotides, avec labrador et diallage, s'y développent assez pour former des gîtes spéciaux; mais, le plus souvent, ces euphotides ne forment que des rognons et des blocs noyés dans les stéatites et les serpentines.

Lorsque les serpentines ont traversé des terrains calcaires, il est souvent arrivé que les éléments calcaires infiltrés dans les fissures nombreuses de la serpentine, ont rendu la roche plus massive et plus solide. D'autres fois, il s'est formé de véritables magmas de calcaire et de serpentine. Ces mélanges constituent les marbres serpentineux exploités sur tant de points en Italie, en Corse et dans les Pyrénées.

Cependant, la serpentine seule est quelquefois assez solide et massive pour être exploitée, débitée, sciée et tournée en objets d'art. Telles sont les serpentines vert grisâtre, brun rougeâtre et rouges du cap Lizard, que l'on trouve si souvent employées sous forme de cheminées, plaques, vases, socles, etc.

GROUPE DES PYROXÈNES ET AMPHIBOLES.

Les trois bases isomorphes, la chaux, la magnésie et le protoxyde de fer, donnent lieu par leur combinaison avec la silice, à une série de minéraux très-répandus. Ce sont des minéraux cristallins, plus ou moins lamelleux, pesant 3, dont les couleurs dominantes sont le vert et le noir, qui s'associent aux divers feldspaths pour former des roches.

Deux espèces dominent dans cette série, les pyroxènes dont la formule est $bSi^2 + b'Si^2$, et les amphiboles, plus silica-

tées, dont la formule est $bSi^3 + 3b'Si^2$; b représentant la chaux et b' la magnésie ou le protoxyde de fer.

La différence de ces formules résulte d'une proportion de 53 ou de 58 pour 100 de silice, différence qui n'est pas tellement prononcée qu'on n'ait pu souvent suspecter les analyses, et confondre ensemble les pyroxènes et les amphiboles.

Mais les caractères minéralogiques ne se prêtent nullement à cette assimilation. Les pyroxènes et les amphiboles se distinguent nettement par leurs caractères physiques, par leur cristallisation et par leurs clivages.

Cette distinction est complétée par les conditions du gisement, conditions tout à fait différentes, ces deux espèces étant en quelque sorte incompatibles. Les pyroxènes, silicates basiques, les plus pauvres en silice, ne se trouvent associés ni au quartz, ni aux feldspaths les plus silicatés; ils s'unissent de préférence au feldspath labrador et à l'amphigène. L'amphibole, au contraire, silicate plus riche en acide, s'unit au quartz et aux feldspaths les plus silicatés.

VOLLASTONITE.

$CaSi^2$.

Couleurs. — Blanc, blanc grisâtre ou jaunâtre, éclat nacré.

Densité. — 2,80.

Dureté. — Raye faiblement le spath calcaire; rayée par l'apatite.

Formes cristallines. — Prisme rhomboïdal oblique, M/M = 95°, P/M = 105°. Souvent en tables aplaties.

Trois clivages parallèles aux faces du prisme primitif. Cassure lamelleuse.

Difficilement fusible au chalumeau; se fond au contraire très-facilement avec le borax en un verre transparent.

La vollastonite est surtout caractérisée par ses clivages. On la reconnaît encore parce qu'elle devient phosphorescente dans l'obscurité, lorsqu'on la frotte avec une pointe d'acier.

La vollastonite peut être considérée comme un pyroxène à base de chaux ; on remarque en effet que les clivages du pyroxène, très-variables sous le rapport du nombre et de la facilité, sont, en général, d'autant plus nombreux et d'autant plus faciles qu'il contient plus de chaux.

PYROXÈNE DIOPSIDE.

$CaSi^2 + (Mg,fe)Si^2$.

Couleurs. — Vert clair transparent; vert foncé opaque.

Densité. — 3,25.

Dureté. — Raye l'apatite ; rayé par le quartz et par le feldspath.

Formes cristallines. — Prismes rhomboïdaux obliques, M/M = 87°, P/M = 100, modifiés sur les arêtes du prisme et sur les sommets.

Clivages. — Variables en nombre et en facilité. Certaines variétés ont quatre clivages, deux parallèles aux faces du prisme et deux diagonaux; d'autres n'en ont qu'un seul, parallèle à la base. Les cassures transversales sont vitreuses dans les échantillons translucides, inégales et grenues dans ceux qui sont lithoïdes.

Fusible au chalumeau en un verre de la couleur de l'échantillon.

Inattaquable par les acides.

Les pyroxènes diopsides, verts, contiennent des proportions variables de chaux et d'oxyde de fer, et, par suite, présentent des colorations plus ou moins foncées.

Ce qui est plus remarquable, c'est que les clivages varient aussi, leur nombre paraissant être d'autant plus grand que la chaux domine davantage.

Ces différences dans les clivages, ont déterminé l'emploi de dénominations distinctes, que nous croyons tout à fait inutiles. Nous considérons les cristaux de pyroxène diopside d'Ala, comme pouvant servir de type à l'espèce ; leur analyse a donné :

		OXYGÈNE.	RAPPORTS.
Silice...........	54,64	28,48	4
Chaux..........	23,90	7,16	1
Protoxyde de fer.	3,08	7,18	1
Magnésie........	18,00		

ce qui conduit à la formule $CaSi^2 + (Mgfe)Si^2$.

Les caractères cristallographiques du pyroxène diopside sont mis en évidence par la figure 169, représentant les formes de deux demi-cristaux d'Ala.

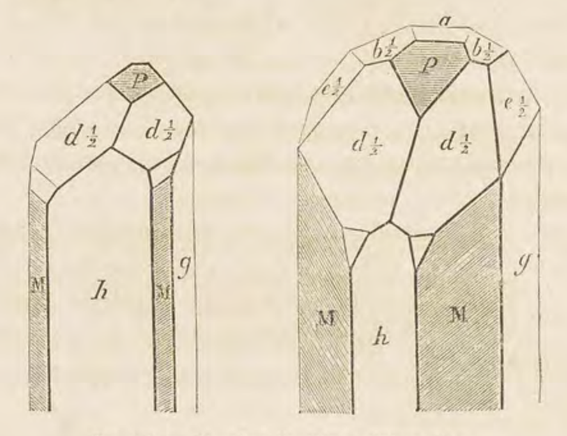


Fig. 169. — Pyroxène diopside ; cristaux d'Ala.

Ces formes reproduisent les modifications signalées précédemment pages 64 et 65, comme celles du quatrième système cristallin.

Les cristaux sont en général complexes, par les modifications simultanées des éléments du prisme et des sommets.

Sur le prisme, le développement des troncatures *g* et *h* détermine huit pans, et tend à donner des sections rectangulaires, ces troncatures, parallèles aux plans diagonaux, étant perpendiculaires entre elles.

Sur les sommets, ce sont principalement les troncatures des arêtes, $d\ \frac{1}{2}$, qui tendent à éliminer la base P, en faisant ressortir le caractère oblique du prisme.

Le diopside peut présenter à la fois deux clivages parallèles

aux faces du prisme et se croisant par conséquent sous l'angle de 87°; deux clivages plus difficiles et perpendiculaires entre eux, parallèles aux faces diagonales *g* et *h;* enfin un clivage difficile parallèle à la base P.

Ainsi que nous l'avons dit, ces clivages varient de nombre et de facilité. Dans certaines variétés (*Baikalite*), il n'y a que trois clivages, parallèles aux faces du prisme oblique primitif. Dans d'autres (*Sahlite*), il n'y a qu'un clivage facile qui est celui de la base.

Le diopside compacte ou lamelleux se trouve en roches; par exemple dans les Pyrénées, où il constitue celle que l'on connaît sous le nom de *Lherzolite,* près du lac de Lherz. Cette roche d'un vert foncé, compacte, grenue ou finement lamelleuse, contient en effet des géodes de diopside clivable ou cristallisé.

Les pyroxènes, en se chargeant de fer, deviennent de plus en plus foncés en couleur, et passent au noir.

La variété dite *Hedenbergite*, contient 20 parties de protoxyde de fer, autant de chaux et 7 de magnésie; elle est tout à fait noire et devrait être, par conséquent, assimilée à l'augite. Mais elle présente encore les formes cristallines qui dominent dans le diopside. On peut donc considérer cette variété comme formant le passage à l'augite.

PYROXÈNE AUGITE.

$CaSi^2 + feSi^2$.

Couleurs. — Vert noirâtre, noir lithoïde.

Densité. — 3,10 à 3,30.

Dureté. — Raye l'apatite; rayée par le quartz.

Formes cristallines. — Prismes à huit pans, dérivés d'un prisme oblique rhomboïdal de M/M = 87°; P/Mz 100. Sommets généralement en biseaux.

Clivage facile parallèlement à la base; difficile dans les autres sens; cassure inégale et grenue.

Fusible au chalumeau en un verre noir. Difficilement attaqué par digestion dans les acides.

Le pyroxène noir ou augite est souvent désigné sous le nom de pyroxène des volcans, parce que les types de l'espèce se trouvent, en effet, dans les roches volcaniques ou trappéennes.

Dans beaucoup d'éruptions, les pouzzolanes rejetées par les volcans, contiennent des cristaux isolés d'augite. Le Vésuve en a produit de grandes quantités, et, parmi les volcans éteints de l'Auvergne, le puy de la Rodde en a produit plus encore.

Lorsque les cristaux de pyroxène augite sont simples, leur forme dominante est celle de prismes à huit pans présentant : les faces primitives M et M, et les deux faces dérivées perpendiculaires entre elles *h* et *g* (*fig.* 170). Les sommets dièdres composés des deux troncatures *e*, laissent quelquefois subsister une petite partie de la base, qui tend à former un sommet trièdre.

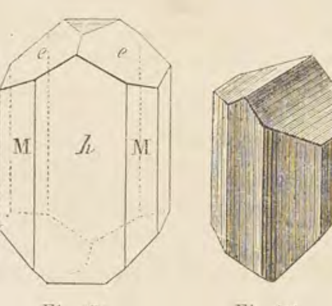


Fig. 170. *Fig.* 171. Pyroxène augite.

La figure 170 est le tracé théorique de ces cristaux, la figure 171 est un cristal naturel.

Très-souvent les cristaux d'augite sont hémitropes et caractérisés par des angles rentrants très-prononcés à l'un des som-





Fig. 172. — Pyroxène augite; cristaux hémitropes.

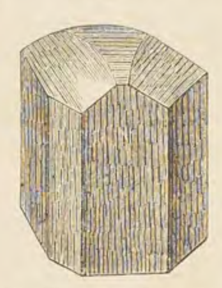


Fig. 173. — Pyroxène augite.

mets. La figure 172 reproduit deux de ces cristaux avec les irrégularités qui résultent de la dilatation de certaines faces; ils proviennent du puy de la Rodde en Auvergne.

La figure 173 représente un prisme à huit pans, avec sommets dièdres et indication de la face primitive, oblitérée par plusieurs modifications; ce cristal provient des roches trappéennes du Westerwald.

L'analyse des cristaux du Vésuve a donné :

		OXYGÈNE.	RAPPORTS.
Silice...........	52,36	25,46	4
Chaux...........	22,19	5,86	1
Magnésie........	4,99	0,65	
Protoxyde de fer.	17,38	5,93	1

c'est-à-dire $CaSi^2 + (feMg)Si^2$.

Le pyroxène augite est l'élément constituant et souvent dominant des roches basaltiques, dans lesquelles il est associé aux feldspaths, quelquefois il s'isole en cristaux, et donne à ces roches un aspect porphyroïde.

A la Somma (Vésuve), il est souvent associé à l'amphigène.

Les laves des volcans actuels sont en général noires et très-pyroxéniques. Lorsqu'on en saisit des fragments pâteux avec des pinces, la substance promptement refroidie reste noire et vitreuse, mais lorsque le refroidissement très-lent des grandes masses, permet aux éléments de cristalliser, le pyroxène s'isole dans la pâte grise et finement cristalline, en cristaux lamelleux, vert foncé ou noirs.

Le volcan de l'île Bourbon produit des laves très-noires et très-fluides, qui sont de l'augite presque pure.

HYPERSTHÈNE.

$(Mg,fe)Si^2$.

Couleurs. — Noir bronzé, reflets quelquefois chatoyants.

Densité. — 3,35.

Dureté. — Raye le verre ; est rayée par le quartz.

Forme cristalline. — Prisme rhomboïdal oblique, de 87°, indiqué seulement par les clivages.

Quatre clivages. — Deux sous l'angle de 87°, parallèles aux faces M; deux diagonaux et perpendiculaires entre eux. Cassures lamelleuses.

Fusible au chalumeau. Inattaquable par les acides.

L'hypersthène est un véritable pyroxène sans chaux. Il existe en masses lamelleuses, associé à des feldspaths labrador, et constitue des roches spéciales, désignées sous la dénomination d'*Hypérites*. Ces roches n'ont jamais une grande importance, elles constituent seulement quelques dykes et masses subordonnées.

Les plus beaux échantillons d'hypersthène, viennent de la côte Saint-Paul en Labrador (Groënland).

DIALLAGE.

$(Mg,Ca,fe)\,Si^2$.

Couleurs. — Vert bronzé ; vert olive ou noirâtre.

Densité. — 3,10.

Dureté. — Rayé par l'hypersthène.

Forme cristalline. — Prisme rhomboïdal oblique de 87° indiqué seulement par les clivages.

Trois clivages. — Un clivage diagonal, facile et persistant dans toutes les variétés; deux moins faciles, sous l'angle de 87°. Cassures lamelleuses.

Infusible au chalumeau; se décolore. Inattaquable par les acides.

Le diallage abonde dans certaines roches de serpentine, en petites lames cristallines, disséminées comme dans un porphyre. Il s'isole quelquefois en veines, en nodules, de nuances vertes

assez variées. Il est toujours très-lamelleux, au moins dans un sens. Associé au feldspath labrador, il constitue les roches désignées sous le nom d'*Euphotides* dont quelques variétés sont employées dans l'ornement.

AMPHIBOLE BLANCHE.

Trémolite. Grammatite. — $CaSi^3 + 3MgSi^2$.

Couleurs. — Blanc mat ou grisâtre.

Densité. — 2,90.

Dureté. — Raye le spath calcaire.

Formes cristallines. — La forme dominante est le prisme primitif, rhomboïdal, oblique, P/M = 103° et M/M = 124°. Quelques variétés sont terminées par un biseau.

Clivages. — Deux clivages faciles, parallèles aux pans M du prisme, et faisant un angle obtus de 124°. Cassure facile et lamelleuse dans le sens des clivages, arrachée et striée dans le sens transversal.

Fusible au chalumeau en émail blanc. Inattaquable par les acides.

L'amphibole *trémolite* ou *grammatite*, c'est-à-dire exclusivement à bases de chaux et de magnésie, est une substance peu répandue comparativement aux autres espèces d'amphibole.

Les cristaux de trémolite, blancs, grisâtres et quelquefois un peu verdâtres, toujours primitifs, qui se trouvent dans les collections, proviennent principalement du Saint-Gothard où ils sont empâtés dans les dolomies. On en a trouvé d'identiques et dans les mêmes conditions de gisement, sur plusieurs points des Alleghanys. L'analyse de ces cristaux a donné :

		OXYGÈNE.	RAPPORTS.
Silice...........	58,07	30,37	9
Chaux..........	12,99	3,39	1
Magnésie........	24,46	10,48	3
Oxyde de fer.....	1,90	0,26	

ce qui conduit bien à la formule indiquée $CaSi^3 + 3MgSi^2$, en considérant l'oxyde de fer comme adventif.

Les amphiboles trémolites ont une tendance prononcée à prendre la structure fibreuse, et certaines variétés se présentent même sous cette forme avec des fibres tellement fines et déliées qu'elles sont flexibles.

On attribue généralement à l'amphibole, ces minéraux fibreux et plus ou moins flexibles, que l'on appelle **asbestes** ou **amiantes.**

Le nom d'*amiante* s'applique de préférence aux variétés les plus fines, dont les filaments blancs ou verdâtres ressemblent à de la soie, et que l'on a même pu tresser de manière à en fabriquer des tissus incombustibles.

Dans certains cas, l'asbeste ou l'amiante se trouvent naturellement feutrés et tressés, de manière à présenter des parties de roche flexibles et élastiques, dites *cuir de montagne.*

Ces substances filamenteuses, plus ou moins flexibles et élastiques, sont, en général, de couleur très-claire; blancs soyeux ou verdâtres. Leur analyse, toujours un peu indécise, tend à assimiler le plus grand nombre aux amphiboles trémolites, quelques-unes au pyroxène diopside.

Ces substances forment de petites veines dans les terrains métamorphiques, et leurs fibres sont perpendiculaires au toit et au mur de ces veines, comme dans le cas où des fissures ont été remplies par des minéraux fibreux et cristallins ; mais ce sont, en général, les asbestes les moins flexibles qui se trouvent ainsi. Les amiantes forment plutôt à la surface de roches métamorphiques et cristallines, ou dans des fissures non remplies, des concrétions soyeuses, dont les fils ont le plus souvent quelques millimètres, quelquefois plusieurs centimètres et même un décimètre de longueur.

Jade. Néphrite. — L'extension des relations commerciales avec la Chine, a répandu en Europe une multitude de petits objets d'ornement en jade ou néphrite. Ce sont des vases, des tasses, des figurines, des amulettes. Ces objets sont très-recherchés,

parce que la substance en est dure (c'est-à-dire raye le verre et fait feu avec l'acier), et qu'elle est en même temps très-finement travaillée.

C'est une substance blanche ou verdâtre, quelquefois tout à fait verte ; translucide, dure et tenace ; à grain tellement fin et serré, que la cassure est céroïde. Sa pesanteur spécifique est de 2,90.

Ces caractères ne concordent pas avec ceux de l'amphibole blanche, mais l'analyse autorise l'assimilation. Le jade ou néphrite de Chine, peut être considéré comme un état spécial et compacte de l'amphibole trémolite.

AMPHIBOLE VERTE OU NOIRE.

Actinote. Hornblende. — $CaSi^3 + 3(feMg)Si^2$.

Couleurs. — Vert plus ou moins foncé, suivant que la variété est plus ou moins ferrugineuse ; noire, lorsque la proportion de fer atteint un maximum de 20 pour 100.

Densité. — 3.

Dureté. — Raye le spath calcaire; rayée par l'apatite.

Formes cristallines. — Prismes rhomboïdaux obliques, P/M = 103°, M/M = 124°. Sommets en biseaux *e*, *e*; sommets trièdres P, *e*, *e*. Cristaux souvent radiés, allongés et fibreux.

Deux *clivages.* — Parallèles aux faces M. Cassure lamelleuse et facile dans ces deux sens, arrachée et striée dans les sens transversaux.

Au chalumeau, toutes les amphiboles sont fusibles en un émail de même couleur que l'échantillon.

Lorsque l'amphibole se charge de 2 pour 100 de protoxyde de fer substitué à la magnésie, elle subsiste comme variété de trémolite ; mais lorsque la quantité de protoxyde de fer s'élève à 6 ou 7 pour 100, l'amphibole est complétement verte et prend le nom d'**actinote.**

L'*actinote* cristallise plus nettement que la trémolite; on la trouve en prismes primitifs ou du moins peu modifiés, translu-

cides, avec tous les caractères d'une espèce minérale parfaitement définie. La figure 174 est un prisme hexagonal à sommets dièdres, très-fréquent parmi les cristaux d'actinote.

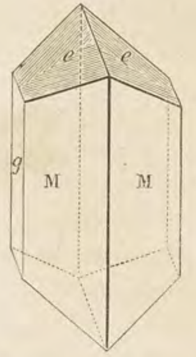


Fig. 174. — Amphibole actinote.

La quantité de fer augmente dans beaucoup des variétés, le vert devient plus foncé, passe même au noir, par degrés si bien ménagés, qu'il n'est guère possible d'établir une ligne de démarcation entre l'amphibole verte *actinote* et l'amphibole noire *hornblende*.

L'actinote abonde surtout dans certaines roches de la Suède et de la Norwége. Elle est souvent fibreuse et radiée; ses cristaux forment des faisceaux bacillaires dont on peut détacher des prismes de clivage. Quelquefois, les groupes radiés forment, dans les roches métamorphiques, des cristaux distincts, ainsi qu'il est indiqué par la figure 175.

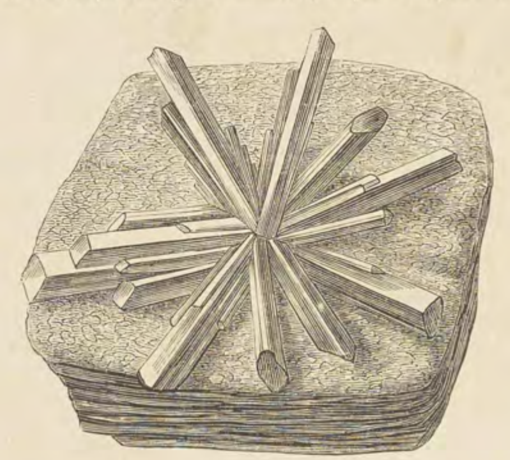


Fig. 175. — Amphibole en cristaux radiés.

Cette figure met en évidence la forme de l'amphibole, en prismes hexagonaux et leur groupement radié. Dans ces cristaux les clivages indiquent les faces primitives.

L'amphibole *hornblende* est vert foncé ou noire, l'intensité de la

couleur étant toujours d'autant plus foncée que la proportion de fer est plus considérable.

La cristallisation peut, jusqu'à un certain point, fournir, comme la couleur, quelques indices sur la composition. Ainsi, dans les actinotes ne contenant que de 6 à 8 pour 100 de fer, les faces primitives du prisme sont presque toujours très-dominantes et les sommets sont souvent terminés en biseaux.

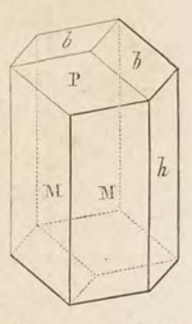


Fig. 176. — Amphibole hornblende.

Dans les amphiboles hornblendes, essentiellement ferrugineuses, les faces G sont plus développées; les sommets sont le plus souvent trièdres par la combinaison de la base P avec deux troncatures sur les arêtes *b*, ainsi qu'il est indiqué figure 176.

Beaucoup de ces cristaux sont hémitropes et présentent, dès lors, un sommet quadrangulaire par la réunion des quatre faces *b* et un sommet dièdre par la réunion des deux bases P; la figure 177 indique la disposition de ces hémitropies.

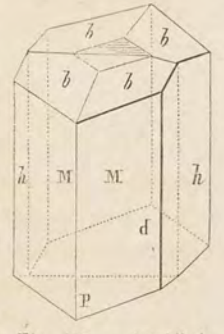


Fig. 177. — Amphibole hornblende hémitrope.

Tous ces cristaux d'actinote ou de hornblende sont parfaitement caractérisés, non-seulement par leurs formes et leurs angles, mais plus encore par la constance des deux clivages faciles parallèles aux faces M, c'est-à-dire se coupant sous un angle de 124°.

L'analyse des cristaux d'hornblende, tout à fait noirs, a donné :

		OXYGÈNE.	RAPPORTS.
Silice...........	57,60	27,58	9
Protoxyde de fer..	22,67	5,87	3
Magnésie........	7,85	3,08	
Chaux	9,56	3,20	1

analyse qui conduit à la formule $CaSi^3 + 3\ (fe,Mg)Si^2$.

Les amphiboles contiennent presque toujours un peu d'alumine, considérée comme provenant du mélange de silicates alumineux.

YÉNITE.

$3(fe,Ca,mn)Si + Fe^2Si.$

Couleurs. — Noir foncé, éclat résineux.

Densité. — 3,90.

Dureté. — Raye facilement le verre ; rayée par le feldspath et le quartz.

Formes cristallines. — Prismes dérivés d'un prisme rhomboïdal droit, sous l'angle de 112° ; sommets pyramidés.

Point de *clivage* net. — Cassure inégale et résineuse.

Fusible au chalumeau en un émail noir et magnétique. Soluble dans l'acide chlorhydrique.

L'yénite est une substance accidentelle qui, sur quelques points isolés, notamment dans l'île d'Elbe et à Campiglia en Toscane, est assez abondante pour former une roche.



Fig. 178. — Yénite en prismes droits rhomboïdaux.

Elle tend à cristalliser et à prendre une structure bacillaire. Dans les géodes, elle s'isole fréquemment en beaux cristaux dont la figure 178 offre un spécimen. Les sommets de ces cristaux portent les modifications binaires qui caractérisent les prismes droits rhomboïdaux.

Comme gisement, l'yénite se lie à l'amphibole et au pyroxène, substances auxquelles elle est en quelque sorte subordonnée.

ROCHES AMPHIBOLIQUES.

La série des roches amphiboliques commence par des roches granitoïdes, dites *diorites*, qui se lient avec les syénites. Ces diorites, composées d'orthose et souvent d'albite, avec de l'amphibole hornblende à l'état cristallin, ne présentent guère de variété, que par le volume et par la proportion relative des éléments constituants.

Les diorites des Vosges peuvent servir de type pour cette espèce de roche dont la dénomination a souvent été beaucoup trop étendue. Une roche n'est une diorite qu'à la condition de présenter les deux éléments constituants, distincts et associés par une texture granitoïde; lorsque les deux éléments cessent d'être distincts à la loupe, la roche est un *trapp*.

Sans doute, lorsqu'on étudie une grande masse dioritique, et que l'on voit la roche bien caractérisée passer, comme dans les Vosges, à une variété noire dont les éléments ne sont plus distincts, on peut employer pour ces sous-variétés, la dénomination de diorite compacte ou schisteuse : ce sont des altérations partielles d'un type incontestable. Mais lorsque, comme dans le Hartz ou le Nassau, on est en présence de roches dont l'état compacte est l'état normal, dans lesquelles on ne peut distinguer ni feldspath, ni amphibole, et où se trouvent seulement, par grande exception, quelques parties où les deux éléments deviennent distincts; ces roches compactes ne sont plus des diorites, ce sont les trapps ou grunsteins.

La diorite des Vosges est à feldspath blanc; amphibole noire, lamelleuse, en prismes courts. Celle des environs de Dresde, qui est également un type, est à feldspath rose.

A Altenberg (Erzgebirge), on appelle porphyre dioritique, une syénite composée d'une pâte noire d'amphibole fibreuse, avec de larges cristaux de feldspath rouge, qui sont de l'orthose, souvent associé à de l'oligoclase jaunâtre.

Parmi les belles variétés de diorites, qui sont employées dans l'ornement, se place en première ligne la *diorite orbiculaire* de

Corse. C'est une diorite ordinaire, formée d'oligoclase blanche et d'amphibole vert foncé, qui contient des nodules cristallins formés de zones concentriques des deux éléments. Lorsque cette roche est sciée et polie, les sections des nodules cristallins forment des dessins orbiculaires, plus ou moins grands et multipliés, dont les zones se détachent en clair sur le fond plus chargé d'amphibole.

Des passages minéralogiques réunissent souvent les diorites aux syénites et même aux granites. En Bretagne, on exploite, sous le nom de *kersanton,* une roche grise, dont les éléments sont, le feldspath, l'amphibole et le mica; éléments ordinairement distincts, mais quelquefois fondus en une pâte presque noire et homogène.

La dénomination de trapp s'applique à des roches compactes, vertes ou noires, dont la nature cristalline se révèle seulement dans quelques variétés subordonnées, mais dont l'origine éruptive est attestée par les phénomènes d'intercalation en dykes, en masses injectées de bas en haut, et par un cortége de roches métamorphiques, bien plus développées en général, que les roches trappéennes elles-mêmes.

Les roches trappéennes ont reçu des noms très-variés. Ce sont les *trapps* de l'Angleterre, de l'Inde et de la Nouvelle-Ecosse; les *diorites* du Hartz; les *grunsteins* du Nassau et de la Bavière; les *ophites* et *amphibolites* des Pyrénées, etc.... Les roches métamorphiques qui accompagnent ordinairement les *trapps* éruptifs, sont désignées sous les dénominations de *spillites* et *amygdaloïdes;* en Allemagne, ce sont les *schalsteins*, les *mandelsteins* et les *blattersteins*.

La nature amphibolique des trapps est mise en évidence, dans toutes les localités précitées, par des variétés cristallines, où l'amphibole prend les structures fibreuses ou radiées qui la caractérisent. Ces parties cristallines sont les *amphibolites;* le feldspath en est presque éliminé, tandis que, dans les trapps compactes, il est en proportion souvent dominante.

La région trappéenne du lac Supérieur, dans l'Amérique du Nord, est une des mieux explorées, à cause des mines de cuivre

qui y sont concentrées. Cette région montagneuse, mais peu élevée, présente quelques arêtes culminantes où se présentent des roches cristallines, grisâtres, qui ont le caractère de trapp ou de diorite à grains fins. Ces roches occupent peu d'étendue, tandis que les amygdaloïdes, qui leur sont superposées, couvrent les plus grandes surfaces.

On donne souvent le nom de trapp à des roches amygdaloïdes, massives et les plus rapprochées des trapps éruptifs. Ce sont des roches brunes ou rougeâtres, ayant une texture tantôt granulaire et d'une désagrégation facile; d'autres fois, au contraire, formant une pâte homogène, solide, et criblée d'une multitude de vacuoles arrondies, qui sont vides ou remplies de spath calcaire, de chlorite, de quartz, et quelquefois de substances métallifères ou métalliques.

Ces amygdaloïdes, massives et homogènes, passent à des brèches et à des conglomérats de frottement, ordinairement rouges et surchargés d'oxyde de fer.

En Bavière, à Fisbach, Erstein et Oberstein, le trapp est une roche noire, compacte ; véritable type de composition problématique, auquel sont subordonnées des spillites et des amygdaloïdes très-développées. Les vacuoles de ces amygdaloïdes contiennent des noyaux de spath calcaire, de prehnite et surtout de quartz agates et jaspes, qui fournissent aux ateliers de sciage et de polissage la plus grande partie des jaspes et des agates taillés, qui sont versés dans le commerce.

Dans le nord de l'Angleterre et en Écosse, les trapps sont souvent compactes et de composition problématique; ceux d'Édimbourg présentent, comme éléments très-distincts, une amphibole vert noirâtre, grenue plutôt que lamelleuse, et un feldspath blanc laiteux, compacte. Beaucoup de grains de pyrite sont mélangés à ces éléments.

Les trapps de l'Angleterre sont souvent cités à cause de leurs formes expressives d'éruption et de leur structure prismatique; des amygdaloïdes ferrugineuses les accompagnent en un grand nombre de points.

Dans les Vosges, à Raon, Rothau, Saint-Bresson, etc., on

donne le nom de trapp à des roches noires et compactes, dont le caractère trappéen est en effet mis en évidence par de l'amphibole aciculaire; tandis que d'autres fois c'est une roche à texture très-fine, composée de parties noires, tout à fait compactes, veinées de parties blanches qui ont l'apparence de pétrosilex.

Dans les Pyrénées, les ophites et les roches qui leur sont subordonnées, sont vertes, avec un caractère tout à fait amphibolique.

Dans un grand nombre de contrées, les roches trappéennes se lient aux roches serpentineuses par des mélanges et par des identités de gisement et d'époque d'éruption.

En comparant, sous le rapport de la composition, l'ensemble des roches trappéennes et la série des roches feldspathiques, on voit que la modification est considérable. A la prédominance de l'alumine, associée principalement à la potasse et à la soude, succèdent les bases isomorphes, chaux, magnésie et protoxyde de fer, l'alumine devenant d'une importance secondaire.

L'introduction d'une notable quantité de fer dans les roches, est signalée par leurs couleurs vertes, brunes, noires, et par une augmentation sensible de leur densité. Elle se manifeste par les grains de pyrite et de fer oxydulé, disséminés dans les pâtes éruptives, et par l'intrusion d'une énorme quantité de peroxyde de fer dans les roches métamorphiques. Dans le Hartz et le Nassau, non-seulement la coloration des roches métamorphiques en rouge plus ou moins intense, est un fait général, mais des concentrations d'hématites rouges, fibreuses, concrétionnées et infiltrées dans ces roches, ont donné naissance à une multitude de gîtes et d'exploitations de minerais de fer.

ROCHES PYROXÉNIQUES.

Les analogies des amphiboles et des pyroxènes sont telles, que les roches pyroxéniques ne se distingueraient pas des précédentes, si une considération essentielle ne venait établir un moyen de distinction. Les pyroxènes, composés des mêmes élé-

ments que les amphiboles, sont moins silicatés; ils contiennent en moyenne 48 à 52 pour 100 de silice, tandis que les amphiboles en contiennent de 59 à 60.

La différence n'est pas bien considérable; et cependant elle a une assez grande valeur au point de vue minéralogique, précisément parce que les éléments sont les mêmes. Toutes les fois qu'une roche éruptive sera surchargée de silice, il ne peut s'y être formé des cristaux de pyroxène, l'amphibole seule y existera. S'il y a, au contraire, excès de bases, c'est le pyroxène seul qui a pu s'y former.

En d'autres termes, toutes les fois que, dans une roche, on verra du quartz cristallin, de l'orthose, de l'albite ou de l'oligoclase, les substances noires ou vertes, lamelleuses, appartiennent nécessairement à l'amphibole ; tandis que l'absence de quartz, la présence du labradorite, de l'amphigène, de la néphéline, concordent toujours avec le pyroxène. Réciproquement, la présence du pyroxène indique que les substances feldspathiques associées, sont peu silicatées; tandis que l'amphibole se trouvera associée aux feldspaths les plus silicatés dans les syénites, les diorites, les porphyres et les trachytes.

De ces groupements minéralogiques résulte une conséquence géologique : la série des roches éruptives est de moins en moins chargée de silice ; donc les roches pyroxéniques seront postérieures aux roches amphiboliques.

En effet, la série des roches pyroxéniques commence seulement aux mélaphyres.

Lorsque les mélaphyres sont chargés de chaux, de magnésie et de protoxyde de fer, en proportion telle, que le pyroxène devient l'élément dominant, ce sont des roches à pâte noire, compacte, contenant comme cristaux, du pyroxène et du labrador. Ces roches ne sont pas très-répandues; les mieux caractérisées sont celles de la Bohême, et certains mélaphyres à pâte rougeâtre et cristaux de pyroxène qui se trouvent dans les Monts Dores, et qui sont désignés sous la dénomination de *basanites.*

Pendant la période basaltique qui a succédé à la période trachytique, les phénomènes éruptifs n'ont amené au jour que des

roches noires, compactes, quelquefois porphyroïdes, qui sont les *basaltes*.

Le basalte est considéré, malgré sa texture compacte, comme formé d'éléments cristallins, microscopiques, de pyroxène augite et de labrador. Sa pâte est grise, et d'autant plus claire, que la proportion de labrador est plus grande, tandis que la prédominance du pyroxène s'annonce toujours par une couleur d'autant plus foncée.

La pâte grise ou noire du basalte, renferme presque toujours quelques éléments cristallins; il est rare qu'il n'y ait pas quelques petits grains cristallins de péridot dont la cassure vitreuse est toujours facile à reconnaître. D'autres fois ce sont les noyaux de péridot granulaire dit olivine, qui sont empâtés, tantôt de manière à être adhérents, et tantôt se détachent assez facilement.

Les *basaltes porphyroïdes* sont ceux qui contiennent des cristaux de pyroxène lamelleux, des cristaux d'olivine et quelquefois de labrador. Certaines variétés comme les basaltes de Laussone, près du Puy-en-Velay, ont l'aspect de véritables porphyres pyroxéniques.

Le basalte compacte affecte souvent la structure prismatique et forme des colonnades; celles de Chenavari, exploitées près de Rochemaure (Ardèche), les orgues d'Espaly près du Puy, les coulées columnaires de Jaujac près Aubenas, sont des phénomènes comparables à ceux de Staffa, etc., sur les côtes d'Irlande.

Le basalte présente quelquefois dans ses cavités des cristallisations de diverses zéolites telles que la mésotype, etc.

Presque toujours, l'abondance de ces géodes cristallines annonce que la roche est composée du mélange du pyroxène avec une certaine proportion de substances zéolitiques.

Les basaltes amphigéniques sont aussi des porphyres pyroxéniques, dans la pâte desquels l'amphigène s'isole en cristaux plus ou moins abondants et quelquefois volumineux.

Les basaltes forment des dykes ou des coulées souvent très-étendues, quelquefois coupées et démantelées par l'action pos-

térieure des courants d'eau diluviens. Presque toujours ils sont accompagnés de matières scoriacées et de pozzolanes noires, ou rougies par la suroxydation du fer, lorsque les matières en fusion sont venues au contact de l'air. Dans ces scories et cendres on trouve souvent des cristaux complets de pyroxène, identiques à ceux que rejettent aujourd'hui quelques volcans.

Les *laves pyroxéniques* de l'époque actuelle ne sont en effet que des basaltes moins compactes et plus scoriacés. Le volcan de l'île Bourbon produit encore de véritables basaltes, riches en péridot et d'une pâte pyroxénique comparable à celle des basaltes les plus noirs, d'Espaly en Velay, ou d'Unkel sur les bords du Rhin. Les eaux attaquent ces masses pyroxéniques, les broient en galets et en sables, et si l'on promène dans ces sables un aimant, on peut y recueillir du fer oxydulé titanifère quelquefois en plus grande abondance qu'on ne le croirait en examinant à la loupe les grains assez rares disséminés dans la pâte.

En lavant certains sables basaltiques aux environs du Puy, on recueille également des péridots, des corindons et des zircons.

PÉRIDOT.

$(Mg, fe)\,Si.$

Couleurs. — Vert olive, clair ou foncé, translucide.

Densité. — 3,35.

Dureté. — Raye difficilement le verre. Rayé par le feldspath.

Formes cristallines. — Les cristaux sont des prismes droits rhomboïdaux pyramidés.

Indices de clivage, parallèlement à un plan diagonal du prisme; cassure vitreuse.

Infusible au chalumeau. Se dissout en gelée dans l'acide chlorhydrique.

Les cristaux déterminables de péridot sont très-rares, leur analyse a donné :

		OXYGÈNE.	RAPPORTS.
Silice...........	40,00	20,80	1
Magnésie........	44,00	17,00	1
Protoxyde de fer.	16,00	3,50	

Les proportions de magnésie et de protoxyde de fer, paraissent varier par des substitutions isomorphiques.

A l'état vitreux et cristallin, le péridot abonde dans les roches basaltiques. Il y est tantôt disséminé en petits cristaux qui donnent aux roches un aspect porphyroïde; plus souvent rassemblé en nodules granuleux.

Les grains vitreux et translucides qui forment ces nodules sont désignés sous le nom d'*Olivine*.

Ces grains cristallins, vert bouteille, quelquefois opaques, sont tellement fréquents dans les basaltes, qu'on peut les considérer comme éléments constituants. Souvent ils se décomposent et deviennent irisés. Lorsqu'ils sont tout à fait décomposés, ils sont rouges et opaques.

Dans les géodes cristallines des roches métamorphiques de la Somma, on trouve de gros nodules vitreux de péridot cristallin et d'un beau vert.

Les laves basaltiques de l'île Bourbon et celles qui sont produites même actuellement par le volcan de cette île, sont tellement riches en péridot, que les sables formés par l'action des cours d'eau et de la mer, en contiennent une proportion considérable.

Au volcan de Bar, près Allègre (Haute-Loire), on trouve des fragments de péridot vitreux, translucides et d'un vert-bouteille très-foncé, qui atteignent la dimension d'une noix.

Les péridots qui viennent de l'Inde sont transparents et d'un très-beau vert. On en fait usage en joaillerie à cause de leur couleur très-agréable, lorsqu'elle est avivée par la taille et le poli.

Cette gemme, sans être rare, atteint un prix assez élevé lorsqu'elle présente à la fois une teinte riche et une belle eau.

ZIRCON.

ZrSi.

Couleurs. — Brun rougeâtre, orangé; opaque ou translucide. Éclat un peu résineux.

Densité. — 4,50.

Dureté. — Raye le quartz.

Formes cristallines. — Prisme droit à base carrée, pyramidé et quelquefois modifié sur les arêtes.

Indices de clivages parallèles aux faces ; cassure vitreuse.

Infusible au chalumeau, mais se décolore au rouge vif, en devenant phosphorescent. Inattaquable par les acides.

Les zircons sont toujours en petits cristaux, d'ailleurs assez rares. Ils se trouvent dans deux positions géologiques très-distinctes : dans certains granites et dans les basaltes.

Les roches granitiques de Miask en Sibérie et celles de Henderson County, dans la Caroline du Nord, fournissent de très-beaux cristaux parmi lesquels domine le prisme carré pyramidé sur les arêtes (*fig.* 179). Ce prisme porte quelquefois les faces de trois octaèdres b, $b\frac{1}{2}$, $b\frac{1}{3}$ et des troncatures h.

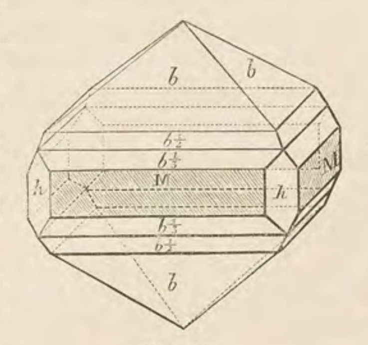


Fig. 176.

La syénite dite zirconienne, de la Norwége, contient une grande quantité de zircons dont la forme dominante est celle de prismes carrés très-allongés, terminés par les faces de l'octaèdre placé sur les angles.

On peut se procurer principalement les zircons dans certaines roches basaltiques. Il existe un gîte remarquable de ces zircons, près du Puy-en-Velay, à Espaly; on l'a exploité en soumettant

au lavage certains sables formés par l'érosion des roches basaltiques. Les cristaux basaltiques d'Espaly se rapportent aux formes indiquées par les figures 180.

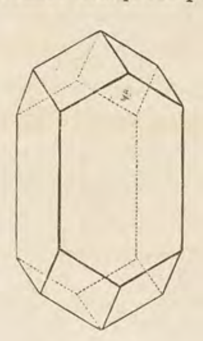
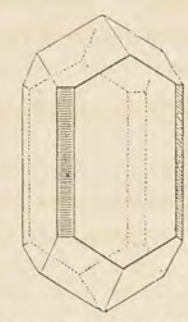
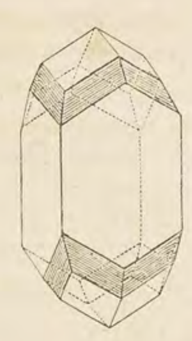




Fig. 180. — Zircons d'Espaly.

Dans les roches métamorphiques de la Somma au Vésuve, on a trouvé des zircons en octaèdres surbaissés, blancs et translucides.

Lorsque les zircons sont d'un beau brun orangé et translucides, on les taille et on en fait usage en joaillerie où ils sont désignés sous le nom d'*Hyacinthe*. Les plus beaux viennent de Ceylan.

SPHÈNE.

$CaSi + Ti^2Si.$

Couleur. — Vert et vert jaunâtre pour les cristaux translucides; brun pour les cristaux opaques.

Densité. — 3,50.

Dureté. — Un peu inférieure à celle du feldspath.

Formes cristallines. — Prismes rhomboïdaux obliques, souvent maclés. M/M = 111° ; P/M = 119°.

Clivages difficiles, parallèles aux faces primitives ; cassure conchoïdale et semi-vitreuse.

Difficilement fusible au chalumeau. Attaquable par digestion dans l'acide chlorhydrique.

Le sphène, substance tout à fait accidentelle, est cependant assez abondant en cristaux simples et peu modifiés, brun opaque, dans certaines roches granitoïdes de la Norwége (Arendal) et de l'Amérique du Nord (Monroë).

Les prismes obliques, vert jaunâtre, translucides et mâclés, très-recherchés pour leurs formes, se trouvent dans certaines roches métamorphiques du Dauphiné, du Saint-Gothard et du Zillerthal en Tyrol.

APOPHYLLITE.

$8CaSi^3 + KSi^6 + 16Aq.$

Couleurs. — Blanc limpide, verdâtre, rosé; translucide ou mat; éclat nacré.

Densité. — 2,30.

Dureté. — Raye le spath fluor. Rayée par l'apatite.

Formes cristallines. — Prismes droits à base carrée; simples ou pyramidés.

Un clivage facile, parallèle à la base du prisme. Cassure lamelleuse suivant ce clivage, vitreuse dans le sens transversal.

Fusible au chalumeau avec boursouflement; donne beaucoup d'eau. Soluble en gelée dans les acides.

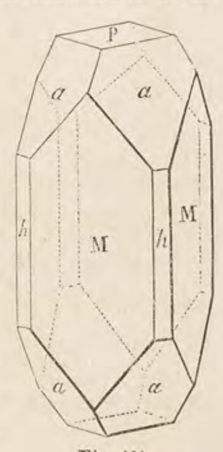


Fig. 181.

L'apophyllite est une substance rare, mais remarquée partout où elle existe pour ses belles cristallisations.

Parmi les gangues métallifères des filons d'Andreasberg au Hartz, on trouve de belles cristallisations d'apophyllite rose; la figure 181 représente la forme théorique de ces cristaux. Ils sont tantôt basés, ainsi que l'indique la figure, et d'autres fois terminés par la pyramide *aa* complétement développée.

Le caractère des prismes carrés de l'apophyllite est nettement

exprimé par la figure 182, dessinée d'après les beaux cristaux qui se trouvent dans les roches trappéennes de Pounah (Indes).

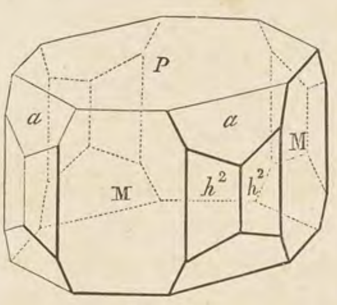


Fig. 182.

Ces cristaux de Pounah sont limpides, verdâtres ou rosés.

Les roches amphiboliques de la Norwége et de la Suède contiennent de beaux cristaux verdâtres et de forme primitive.

A Marienberg, en Bohême, les cristaux sont blanc jaunâtre et opaques.

Les tufs volcaniques de l'Islande présentent souvent des cristaux de forme primitive.

DATHOLITE.

$CaSi^4 + CaBo^3 + Aq.$

Couleurs. — Blanc ou blanc verdâtre limpide, blanc nébuleux ou mat.

Densité. — 2,90.

Dureté. — Identique à celle de l'apatite.

Formes cristallines. — Prismes rhomboïdaux obliques; M/M = 77°; très-modifiés et surchargés de facettes. Les cristaux sont, en général, petits et très-éclatants.

Point de clivages. — Cassure vitreuse.

Fusible au chalumeau en un verre rosé; se désagrége à la simple flamme d'une bougie. Inattaquable par les acides.

La datholite est une substance rare, dont les cristaux, généralement petits et confus, tapissent les fissures de quelques roches serpentineuses ou trappéennes.

Les roches qui contiennent la datholite sont principalement : les grunsteins d'Andreasberg, au Hartz ; les diorites d'Arendal, en Norwége ; les serpentines de Borgenhill, près de New-York.

ESPÈCES MÉTALLIQUES ET MINERAIS

Cette série de minéraux se distingue par l'éclat métallique de la majeure partie des espèces. Sans doute, cette propriété n'est pas générale; les oxydes, les carbonates, les sulfates n'ont pas ordinairement d'éclat métallique ; mais d'autres propriétés telles que la densité et le gisement les rapprochent des minéraux éclatants, qui sont les espèces dominantes.

Le plus grand nombre des espèces minérales réunies dans cette série, constitue les minerais exploités et livrés aux industries métallurgiques, pour la fabrication des métaux usuels.

Ce nom de *minerai* s'applique spécialement aux substances minérales telles qu'elles sont livrées au commerce ou aux fonderies ; c'est-à-dire non plus aux espèces isolées et pures, mais associées à d'autres substances ou disséminées dans des gangues.

Un cuivre pyriteux ou sulfure double de cuivre et de fer est un minéral parfaitement défini, contenant 30 pour 100 de cuivre; mais un minerai de cuivre pyriteux est toujours mélangé et peut être à tous les titres, depuis 1 pour 100 de cuivre jusqu'à 30 pour 100, c'est-à-dire depuis 3 pour 100 de pyrite cuivreuse jusqu'à la pyrite pure.

Il résulte de cette signification du mot minerai, des conditions très-diverses suivant la valeur du métal.

Ainsi, l'argent vaut 220 francs le kilogramme; un minerai d'argent pourra n'en contenir qu'un millième, ce qui rendra très-difficile la distinction de l'espèce minérale qui en sera la base, au milieu des gangues où elle sera disséminée.

Le cuivre vaut 2^{fr},50 le kilogramme, et le titre d'un pour 100

sera le minimum d'un minerai. Le titre ordinaire de 5 à 15 pour 100, rendra la distinction des espèces beaucoup plus facile.

Cette distinction des espèces minérales sera encore plus facile pour les minerais de plomb et de zinc, métaux qui ne valent que 50 centimes le kilogramme et dont les minerais doivent atteindre le titre de 20 pour 100.

Enfin, on ne traite guère de minerai de fer au-dessous de 30 pour 100, le fer ne valant guère plus de 20 à 30 centimes le kilogramme ; dans cette proportion, l'espèce minérale qui sert de base au minerai a toujours des caractères nettement exprimés.

Cette explication était nécessaire pour faire apprécier la différence des expressions *espèce minérale* et *minerai.*

Il n'y a d'ailleurs pour la description de cette série d'espèces minérales, aucun ordre indiqué de préférence.

La classification par les bases peut être suivie d'une manière absolue, et nous commencerons par les métaux précieux, en réunissant, autant que possible, dans la série des métaux, ceux dont les minerais se trouvent réunis dans les mêmes gîtes métallifères.

MINERAIS D'OR, OR NATIF.

L'or se trouve toujours à l'état natif; il n'y a point de minerais d'or autres que les roches dans lesquelles il se trouve disséminé en paillettes, en veinules cristallines et dendritiques ou en pépites arrondies.

L'or natif est caractérisé par sa couleur jaune plus ou moins éclatante, par sa malléabilité, par sa densité variable, mais toujours très-grande. Cette densité est :

14,80 pour les échantillons en cristaux;
12,60 lorsqu'il est allié à d'autres métaux, tels que l'argent ou le palladium;
19,20 lorsqu'il est écroui en paillettes disséminées dans les sables.

Les cristaux bien formés sont rares ; ce sont des cubes ou des

octaèdres réguliers; les plus ordinaires sont des octaèdres émoussés, enchâssés les uns dans les autres, et formant des dendrites; c'est l'or ramuleux. D'autres fois l'or forme de petites lames très-minces ou des pépites arrondies.

L'or natif n'est presque jamais chimiquement pur; il est allié à d'autres métaux qui sont ordinairement l'argent et le palladium.

L'or peut contenir de 5 à 30 pour 100 d'argent; la moyenne est de 9 à 10 pour l'or qui arrive de la Californie et de l'Australie. Quant au palladium, c'est principalement dans l'or du Brésil qu'on l'a trouvé.

L'or palladié, contenant 2 à 4 pour 100 d'argent et 8 à 9 pour 100 de palladium, a souvent été frappé en monnaies sans affinage; il est d'un jaune clair, tandis que l'or affiné est jaune orangé. En général, la teinte de l'or indique assez bien son degré de pureté.

Le gisement en place de l'or natif, paraît être d'une manière presque générale, le quartz en filons ou même en couches métamorphiques. Ainsi, en Californie, on a trouvé presque immédiatement les quartz aurifères en filons, qui ont fourni les matériaux des alluvions exploitées par lavage.

En Sibérie, et notamment à Berezow, on exploite également des quartz aurifères en filons.

Au Brésil, à Gongo-Socco, on exploite l'or en place dans des quartz grenus, *itacolumites* avec fer oligiste, et dans des quartz-jaspes, ferrugineux, stratifiés, alternant avec des schistes argileux. Ces roches aurifères, profondément métamorphiques, contiennent, outre le fer oligiste, du manganèse carbonaté, qui est même considéré comme un guide pour rechercher les parties les plus avantageuses à exploiter

Malgré cette connaissance du gisement de l'or en place, les 19/20 de l'or versé dans le commerce sont obtenus par le lavage des alluvions aurifères. Dans ce cas, non-seulement l'action érosive des eaux a fait les frais du bocardage, mais l'or contenu a été concentré par un premier lavage opéré par les cours d'eau, de telle sorte que certaines parties des alluvions

situées vers les coudes et barrages naturels des cours d'eau, offrent des conditions très-avantageuses.

On sait, d'ailleurs, comment on procède pour exploiter ces alluvions : on les débarrasse d'abord par le tamisage des cailloux roulés qu'elles peuvent contenir; puis par un premier lavage de toutes les parties argileuses et délayables. Restent des sables grenus que l'on concentre progressivement, par les diverses opérations du lavage, de manière à ramener dans un litre, par exemple, toutes les matières plus denses que le quartz, contenues dans un mètre cube. Ce dernier sable ne présente pas encore d'une manière visible, les paillettes d'or qui s'y trouvent; il contient, outre des grains de quartz, tous les minéraux denses, tels que des corindons, des cymophanes, des zircons, du fer oxydulé. Ces divers minéraux se distinguent à la loupe; comme ils sont eux-mêmes moins denses que l'or, on parvient, par un lavage soigneux, à isoler les paillettes d'or. On peut aussi en retirer l'or par amalgation.

On sait que plusieurs rivières charrient des sables aurifères, il n'y a pas bien longtemps qu'on lavait encore, sur certains points reconnus favorables, les sables de l'Arriége, du Rhin, etc. Cette industrie a cessé, mais on lavait encore, il y a quarante ans, des sables aurifères, dont le titre moyen était 0,000 000 132.

Dans l'Oural, la richesse moyenne des sables, criblés et portés aux ateliers de lavage, est 0,000 004 500.

Au Chili, où les conditions de lavage sont très-difficiles par suite du manque d'eau et du haut prix de la main-d'œuvre, on ne lave que des sables d'une richesse de 0,000 009.

En Californie, on a fait beaucoup d'essais sur les quartz aurifères en place, que l'on continue encore à exploiter par des moyens très-puissants.

Un filon de quartz, contenant de 60 à 70 grammes d'or par 1 000 kilogrammes, est considéré comme exploitable; mais on l'abandonne dès qu'il ne fournit plus que 50 grammes. La moyenne du rendement, dans une des grandes exploitations, était 56 grammes, c'est-à-dire 56 kilogrammes d'or pour 1 mil-

lion de kilogrammes de quartz. Or, on exploite en Californie des sables qui ne donnent que 2^{kil},21.

Une veine de quartz aurifère, pour être exploitée avec avantage, doit donc être 20 fois plus riche que le sable.

Malgré cette parcimonie avec laquelle l'or a été répandu dans les gîtes, la production annuelle est évaluée comme suit :

Californie	250,000	kilogr.
Australie	300,000	—
Oural	30,000	—
Amérique du Sud	35,000	—

PLATINE NATIF.

Le platine ne se trouve qu'à l'état natif et n'est exploité que dans des alluvions. On a remarqué dans l'Oural, que ces alluvions sont toujours situées au-dessous de régions serpentineuses et qu'elles cessent d'être riches quand elles s'éloignent trop de ces points de départ. On obtient le platine, en grains arrondis et en petites pépites à surface tantôt lisse et polie par les frottements, tantôt inégale et rugueuse.

Le platine est également exploité par lavage à Choco, en Colombie, sans qu'on ait aucun détail sur son gisement. Il nous arrive en grains très-roulés, plus blancs que ceux de Sibérie.

Le platine est, en général, d'autant plus pur qu'il est en grains plus gros et plus écrouis par le frottement. Le titre n'est que de 73 pour 100 de platine pour les grains très-petits, et il s'élève à 85 pour les gros grains, le complément étant composé d'*iridium*, d'*osmium*, de *rhodium*, de *palladium* et de *fer*.

La pesanteur spécifique du platine en grains varie de 16 à 19,50 suivant son degré de pureté.

L'**osmiure d'iridium** se trouve isolé, dans les sables de platine, en paillettes cristallines, aigres et cassantes.

La production du platine est très-limitée ; on l'évalue pour les lavages de l'Oural et de Choco, à un total de 8 à 10 000 kilogrammes par année.

MINERAIS D'ARGENT

Les espèces minérales qui servent de base aux minerais d'argent, forment une série assez complexe; elles peuvent être considérées comme se rapportant à trois groupes distincts :

1° Les minerais qui ont pour base l'argent natif, pur ou allié à d'autres métaux, ordinairement à l'arsenic ou à l'antimoine, quelquefois au mercure;

2° Ceux qui ont pour base les sulfures d'argent, sulfure simple ou sulfures multiples ; minerais d'apparence métallique, que, dans l'Amérique du Sud, on désigne sous le nom de minerais noirs, *negros ;*

3° Les minerais jaunes ou rougeâtres que l'on appelle *pacos* ou *colorados*, qui ne sont autre chose que des oxydes de fer pénétrés de chlorures ou de brômures d'argent. Ces pacos ou colorados paraissent former des gîtes presque superficiels; les sulfures décomposés y ont laissé de l'argent natif, sous forme de filaments capillaires.

Tous ces minerais d'argent doivent, être étudiés sous deux rapports. D'abord on étudiera les caractères minéralogiques des espèces pures et cristallines, de manière à bien préciser ces espèces; en second lieu on examinera avec minutie les apparences des espèces disséminées dans des gangues, c'est-à-dire des minerais au titre de quelques centièmes ou de quelques millièmes, titres qui sont ceux des minerais usuels.

Les filons de Kongsberg en Norwége, et de la cordillère du Chili, sont ceux qui fournissent la plupart des minerais d'argent natif, cristallisés ou filiformes, avec gangues de spath calcaire et de baryte sulfatée. Dans ces dernières années, les filons de cuivre d'Ontonagon, près du lac Supérieur, ont également fourni des quantités notables d'argent natif.

Les filons des environs de Freyberg en Saxe, d'Andreasberg au Hartz, et surtout ceux du Mexique, (la Veta Madre, près

Guanaxuato, la Veta-Grande près Zacatecas, le Fresnillo, etc.), contiennent principalement les sulfures.

Les filons et les gîtes irréguliers de pacos et colorados du Pérou, du Chili et du Mexique, contiennent les minerais chlorurés et brômurés.

Malgré les beaux échantillons fournis par ces divers gîtes, la teneur moyenne des minerais est évaluée aux chiffres suivants :

A Guanaxuato........................	0,0020
A Zacatecas San-Clemente.............	0,0045
A Mellado...........................	0,0013
Au Fresnillo.........................	0,0015

titres largement rémunérateurs lorsque les minerais sont abondants.

Cette richesse moyenne des minerais d'argent est d'une constance remarquable, car Saint-Clair Duport cite dans un ouvrage sur les mines du Mexique, des documents qui établissent que de 1570 à 1585, pendant quinze années, on a exploité, dans un groupe de mines, 237 000 quintaux de minerais qui ont produit 772 marcs d'argent, avec une perte de 581 livres de mercure. La richesse du minerai était donc de 0 00163, et la perte en mercure de 12 onces par marc d'argent. Or, ces chiffres, qui remontent à près de trois cents ans, sont encore aujourd'hui des moyennes pour les mines du Mexique.

Outre les minerais d'argent, précédemment énumérés, il existe des minerais argentifères, qui sont ordinairement la galène et le cuivre gris.

Ces minerais fournissent, outre le plomb et le cuivre, des quantités notables d'argent ; ils sont principalement traités en Europe.

La production de l'argent est, en quelque sorte, un monopole du Mexique et de l'Amérique du Sud ; cette production pouvant être évaluée comme suit en chiffres ronds :

Mexique.......................	530,000 kilogr.
Pérou, Bolivie et Chili.........	200,000 —

Les mines du continent européen ne produisent guère que

150 000 kilogrammes, dont plus de la moitié est obtenue par le traitement des plombs argentifères.

Si l'on joint à ces quantités, celles qui sont produites par les Indes, la Chine, l'Australie, etc., on arrivera à un total de 1 000 tonnes au moins, 1 200 tonnes au plus par année; quantité peu considérable comme valeur, comparativement à celle de l'or produit annuellement.

ARGENT NATIF.

Dans presque toutes les mines d'argent, on a rencontré surtout dans la partie supérieure et décomposée des gîtes, l'argent à l'état natif, avec les conditions de couleur et de malléabilité du métal fabriqué.

La couleur blanche et l'éclat caractéristique de l'argent natif se reconnaissent dans une coupure fraîche, les surfaces naturelles des échantillons étant, en général, grises jaunâtres ou



Fig. 183. — Argent natif.

noirâtres, c'est-à-dire ternies, comme il arrive pour les surfaces d'argent longtemps exposées à l'air.

L'argent natif a une tendance à cristalliser en dendrites ou

rameaux octaédriques; quelquefois les cristaux s'isolent en octaèdres réguliers, rarement en cubes.

La figure 183 indique la disposition des cristaux octaèdres groupés en dendrites, ainsi que celle des filaments capillaires qui accompagnent presque toujours les cristaux.

A cet état cristallin ou cristallisé, la pesanteur spécifique de l'argent est 10,50 et la pureté presque complète; on y trouve à peine quelques traces d'antimoine ou d'arsenic.

Mais cette pureté n'est plus la même pour l'argent natif qui se trouve en lames, en filaments contournés et étirés, souvent capillaires. Sous cette forme il renferme 5, 6 et jusqu'à 10 pour 100 d'antimoine, d'arsenic et de fer.

A Arqueros, au Chili, on a trouvé le mercure allié à l'argent dans la proportion de 13,50 pour 100, ce qui a fait supposer une espèce spéciale, à laquelle on a donné le nom d'*Arquérite*.

L'arquérite se confond en réalité avec l'argent natif dont elle a la cristallisation en dendrites octaédriques et toutes les apparences.

Deux espèces mieux caractérisées se rattachent à l'argent natif, ce sont l'*argent antimonial* et l'*argent arsenical*.

L'**argent antimonial** est un minéral blanc, lamelleux, aigre et cassant. On a trouvé des cristaux dérivés d'un prisme droit rhomboïdal de 120°. La structure lamelleuse de ces cristaux résulte de deux clivages, l'un parallèle à la base et l'autre diagonal. La pesanteur spécifique est 9,50.

Au chalumeau, l'argent antimonial se reconnaît par les vapeurs d'oxyde d'antimoine qui s'en dégagent, et par le bouton d'argent malléable qui reste après l'essai.

La composition de l'alliage est Ag^2Sb; soit:

Argent....................	76
Antimoine...............	24

Les principaux échantillons d'argent antimonial viennent d'Andreasberg au Hartz, et de Wolfach dans la forêt Noire. C'est une substance assez rare à l'état de pureté, mais qui est assez souvent mélangée aux minerais d'argent natif.

L'**argent arsenical** est d'un blanc métallique grisâtre, très-aigre et cassant, à cassure grenue, structure souvent mamelonnée. Il dégage une odeur arsenicale faible par percussion, mais très-forte par le grillage au chalumeau. Sa pesanteur spécifique est 8.

La composition de cette substance est assez variable; la proportion d'argent n'y dépasse pas, en général, 12 à 14 pour 100 par suite d'un mélange presque constant d'une forte proportion de fer sulfuré.

L'argent arsenical est quelquefois assez abondant. C'est le minerai exploité dans les filons de Guadalcanal en Espagne.

ARGENT SULFURÉ.

AgS.

Couleur. — Noir, avec un très-faible éclat.

Densité. — 7.

Dureté. — Rayé par le spath calcaire, facile à couper avec le couteau, en copeaux courbes et malléables.

Formes cristallines. — Le cube ou l'octaèdre.

Point de clivages.

Fusible à la flamme simple de la bougie; au chalumeau, facile à réduire en un bouton d'argent.

L'argent sulfuré est ordinairement désigné par les mineurs sous le nom d'argent noir. Les parties cristallisées ou cristallines sont assez rares. L'analyse de ces cristaux conduit à la formule AgS.

Argent................	86,50
Soufre................	13,50

Dans les filons, l'argent sulfuré est presque toujours à l'état impur et mélangé de sulfures de fer, d'antimoine et même de cuivre.

De ces mélanges, se dégagent rarement, mais dans quelques

filons de Saxe et de Hongrie, des sulfures multiples en proportions définies. Ces espèces minérales sont aigres et cassantes, d'un gris d'acier ; on les a désignées sous les dénominations d'*argent sulfuré fragile* et de *polybasite*.

L'**Argent sulfuré fragile** est aigre et cassant, d'un gris métallique plus éclatant que l'argent sulfuré ordinaire. Lorsqu'il cristallise, il affecte la forme de prismes hexagonaux réguliers. C'est un sulfure double d'argent et d'antimoine contenant 66 pour 100 d'argent.

La **Polybasite**, d'un éclat métallique plus noir, et avec une tendance à cristalliser en prismes, paraît un sulfure triple d'argent, de cuivre et d'antimoine.

A Guarisamay, au Mexique, cette espèce caractérise un gîte spécial. Son apparence est tout à fait celle du cuivre gris, mais sa cristallisation en prismes droits rhomboïdaux la distingue, non pas que les cristaux soient déterminables, mais parce qu'elle tend à déterminer une structure fibreuse et striée, qui rappelle celle de certaines variétés de bournonite.

ARGENT ROUGE.

$$3AgS + \left(\frac{Sb}{As}\right)^2 S^3.$$

Couleur. — Noir métallique. Éclat vif, avec reflets rougeâtres. Quelques variétés sont rouge sombre, translucide. La poussière est rouge sanguin, même pour les variétés noires.

Densité. — 5,80.

Dureté. — Rayé par le spath calcaire.

Formes cristallines. — Dérivées d'un rhomboèdre obtus sous l'angle de 108° ; les cristaux sont ordinairement des prismes à sommets trièdres, quelquefois des scalénoèdres.

Point de clivages. — Cassures conchoïdales avec un éclat semi-vitreux.

Fusible au chalumeau, dégage des vapeurs d'oxyde d'antimoine et est réductible en un bouton d'argent.

L'argent rouge est le minerai normal, et spécialement exploité bans beaucoup de filons, notamment aux environs de Freiderg en Saxe, à Andreasberg au Hartz, aux environs de Guanaxuato au Mexique. Il est en petites veines, d'un faible éclat métallique, donnant une poussière rouge caractéristique. Les cristaux assez fréquents dans les fissures et les géodes de ces filons, ont un éclat metallique vif et quelquefois sont translucides et rougeâtres.


Fig. 184. — Argent rouge.

Ces cristaux sont des prismes à sommets rhomboédriques, et plus rarement des scalénoèdres.

La figure 184 représente un groupe de cristaux du filon le Samson, à Andreasberg.

L'analyse de ces cristaux a donné

Argent................	58,95
Antimoine............	22,85
Soufre................	16,61

d'où la formule $3AgS + Sb^2S^3$.

Dans quelques gîtes, l'antimoine est remplacé par l'arsenic. L'argent rouge arsenical est beaucoup plus rouge que l'argent antimonié sulfuré ; on le désigne par le nom spécial de **proustite**. Il se reconnaît facilement au chalumeau.

L'*argent sulfuré arsénié* se distingue surtout de l'espèce précédente par sa couleur d'un rouge plus vif, et par sa poussière d'un rouge beaucoup plus clair.

Cette variété, d'ailleurs moins répandue que l'argent sulfuré

antimonié, a la même formule, sauf la substitution de l'arsenic à l'antimoine $3AgS + As^2S^3$.

Sa pesanteur spécifique est 5,50. Au chalumeau les vapeurs arsenicales se dégagent en abondance par le grillage, et par la réduction on obtient un bouton d'argent.

ARGENT CHLORURÉ.

$AgCl^2$.

Couleurs. — Blanc grisâtre translucide ; gris noirâtre, verdâtre. Aspect de la cire.

Densité. — 5,25 à 5,50.

Dureté. — Rayé par l'ongle. Substance malléable, se coupant en copeaux flexibles.

Formes cristallines très-rares, en cubes et en octaèdres réguliers.

Point de clivages, se casse et se coupe comme de la cire.

Fusible à la flamme de la bougie, facilement réductible au chalumeau.

Les caractères tout à fait exceptionnels du chlorure d'argent lui ont fait donner le nom d'*argent corné.*

Très-souvent il est mélangé d'une certaine proportion de brômure qui détermine une couleur verdâtre.

Sa composition lorsqu'il est pur est : 76 d'argent et 24 de chlore, soit $AgCl^2$.

L'**Argent brômuré,** $AgBr^2$, est ordinairement associé, souvent mélangé au chlorure. Ses caractères sont identiques, à l'exception de la couleur qui est d'un vert clair, lorsque les échantillons n'ont pas bruni par une longue exposition à la lumière qui en décompose la surface.

Sa pesanteur spécifique n'est que 4,40, inférieure par conséquent à celle du chlorure ; du reste, même aspect et

consistance de la cire, même fusibilité et facilité de réduction.

Le mélange fréquent des deux substances constitue des chloro-brômures.

Ces diverses substances cornées, si faciles à reconnaître lorsqu'elles sont isolées en veinules ou nodules, sont au contraire très-difficiles à voir lorsqu'elles imbibent en faible proportion, les minerais ferrugineux, dits *pacos* ou *colorados*, qui n'en contiennent qu'un ou deux millièmes. On n'apprécie alors leur existence que par des essais, ou parce qu'on reconnaît dans les vacuoles de la roche, quelques particules isolées ou quelques concrétions de chlorures ou de chlorobrômures, plus rarement quelques cristaux discernables à la loupe.

MINERAIS DE TELLURE.

On exploite dans les montagnes qui séparent la Hongrie de la Transylvanie, un groupe de filons contenant de l'or natif, des sulfures d'argent, de la galène argentifère et des minerais de tellure, dans des gangues de quartz, de spath calcaire, de baryte sulfatée, de manganèse carbonaté ou silicaté et d'oxydes de fer. Nagyag et Offenbanya sont les deux centres principaux de ces exploitations, qui fournissent aux collections de très-beaux échantillons et cristaux de ces divers minerais et de leurs gangues.

Parmi ces minerais se trouve le tellure natif allié à l'or, à l'argent, au plomb et quelquefois au bismuth.

Deux alliages dominent, qui sont:

Le **Tellure auro-argentifère**, en dendrites cristallines, métallique gris d'acier, que l'on appelle quelquefois tellure *blanc*, parce qu'il est d'un gris plus clair que les autres alliages.

Cette espèce contient 60 de tellure, 30 d'or et 10 d'argent.

Le **Tellure auro-plombifère**, d'un gris métallique d'autant plus foncé qu'il est plus riche en plomb, est l'espèce la plus abondante. Elle est quelquefois en petits filons la-

melleux, ou même cristallisée en tables minces rectangulaires.

Sa composition est variable, elle contient : 32 à 45 de tellure, 20 à 54 de plomb, 9 à 27 d'or.

La pesanteur spécifique de cet alliage varie de 7 à 8.

C'est une substance tendre, rayée par le spath calcaire et par conséquent par l'acier ; fusible au chalumeau ; soluble en partie dans les acides.

MINERAIS DE PLOMB.

La minéralogie du plomb est des plus simples au point de vue pratique, les espèces abondantes et utilisées étant en très-petit nombre. Le minerai dominant est la galène ou plomb sulfuré ; le plomb carbonaté est déjà un minerai dont on peut compter les gîtes ; le plomb sulfaté et le plomb phosphaté ne servent de minerais que dans quelques cas exceptionnels.

Dans les gîtes métallifères où dominent ces espèces essentielles, se rencontrent quelques espèces plombifères accidentelles ou rares, parmi lesquelles nous décrirons seulement celles qui présentent un intérêt spécial par leurs caractères minéralogiques.

Le plomb se produit dans toutes les contrées, les gîtes étant nombreux et les plus répandus après ceux du fer ; mais ces gîtes sont d'une richesse très-inégale et la production suit la même loi. L'Angleterre et l'Espagne sont en tête de la production, la première atteignant 70,000 tonnes et l'Espagne 60,000 tonnes par année. L'Allemagne vient bien après pour 10,000 tonnes, mais cette production est obtenue par les travaux des mines les plus remarquables, parmi lesquelles on peut citer les mines classiques du Hartz et de l'Erzgebirge, qui servent encore de base principale à l'étude des gîtes métallifères.

Les minerais de plomb donnent lieu à un commerce très-actif, parce qu'ils sont faciles à trier, laver et concentrer, et par conséquent, riches ; en second lieu, parce que les frais de traitement métallurgique, très-élevés lorsqu'on agit sur de petites quantités, et que les fonderies marchent par intermittence, sont

au contraire très-réduits lorsqu'on opère d'une manière continue et sur des masses considérables.

Il s'est donc créé, dans les pays de mines, des usines centrales, qui achètent et concentrent les minerais de toutes les exploitations. C'est ainsi que tous les minerais de plomb, exploités au Hartz, sont centralisés par une seule fonderie. Il en est de même en Saxe et dans la plupart des districts miniers.

D'autres fois, il convient même de transporter sur un point les minerais de provenances très-éloignées. Ainsi il existe à Marseille des fonderies qui traitent les minerais de La Calle et d'autres exploitations situées en Algérie, ceux de l'île de Sardaigne, et de certaines exploitations situées sur les côtes d'Espagne. On trouve avantage à transporter ces minerais, parce que les localités minières prises isolément, ne produisent pas assez pour que le traitement sur place puisse être avantageux, soit parce qu'il n'y a pas de combustible, soit enfin parce qu'une fonderie, pour être bien conduite, exige un personnel capable, qui ne peut se trouver dans ces contrées.

Un ingénieur peut être appelé à évaluer des minerais de plomb argentifère; voici comment il pourra procéder :

Le prix varie nécessairement suivant le titre en plomb et suivant le titre en argent.

Les échantillons sont pris par un ou plusieurs experts, de manière à représenter, aussi exactement que possible, le titre moyen; les essais de ces échantillons, pour plomb et pour argent, sont faits par la voie sèche.

Le plomb contenu dans le minerai est compté au cours du jour, et l'argent au prix de $0^{f},21$ le gramme.

Les frais de fusion sont comptés au prix de 65 francs par tonne de minerai.

Les frais de désargentation (Patinsonage et coupellation) sont comptés au prix de 60 francs par tonne de plomb.

Il est alloué au fondeur, à titre de déchets : 7 unités du titre, pour les minerais au-dessus de 60 pour 100, et 6 unités pour les minerais d'un titre inférieur; plus, 4 pour 100 de la valeur de l'argent.

Exemple. On offre 50 tonnes de minerais, ayant donné aux

essais 60 pour 100 de plomb, et $0^k,56$ d'argent par 100 kilogrammes de minerais (le cours du plomb est 55 francs les 100 kilogrammes).

1° Défalcation faite de l'humidité, supposée de 5 pour 100, reste 47 500 kilogrammes de minerai. Ce minerai sera compté au titre de 60 pour 100, moins 7 de déchet; soit 53 pour 100. C'est 25 175 kilogrammes de plomb.

Le plomb étant à 55 francs, moins un escompte de 2 ¼ pour payement comptant, soit $53^f,77$, la valeur du plomb contenu dans le lot sera $13\,526^f,60$.

Pour l'argent, il y a $0^k,56$ par quintal de minerai, soit $26^k,600$ dans le lot, dont on déduit 4 pour 100, ou $1^k,064$. Reste 25 536 grammes d'argent, à $0^f,21$ le gramme, soit une valeur de $5\,362^f,55$.

Ce qui porte la valeur totale des métaux contenus dans le lot de minerai à $18\,889^f,15$, dont à déduire :

Les *charges* ou frais de traitement métallurgique, 65 fr. par tonne sur 45 500 kilogr.	$3\,037^f,50$
Désargentation à 60 fr. par tonne de plomb sur 25,175 kilogr. de plomb.......................	1 519 50
TOTAL............	$5\,548^f,00$

La valeur totale des métaux étant $18\,889^f,15$.

Le prix net sera de $13\,341^f,15$; ce qui, avec un escompte de 3 pour 100, portera le prix du minerai à $266^f,65$ la tonne.

GALÈNE.

PbS.

Couleur. — Gris bleuâtre très-éclatant, celle du plomb fraîchement coupé; poussière gris jaunâtre, terne.

Densité. — 7,50.

Dureté. — Rayée par le spath calcaire.

Formes cristallines. — Cube, cubo-octaèdre, octaèdres simples ou modifiés.

Trois clivages égaux et rectangulaires, conduisant au cube.

Fusible au chalumeau, après un grillage qui donne des vapeurs sulfureuses; réductible en plomb métallique.

La galène est le minerai de plomb le plus répandu et le plus abondant.

Les cristaux se trouvent dans les géodes des filons. Leur analyse donne 85 à 86 de plomb, 13 de soufre, et un peu de fer; ce qui conduit à la formule PbS.

La forme dominante des cristaux de galène est celle du cubo-octaèdre.

Les octaèdres, moins fréquents, présentent quelques modifications intéressantes sur les angles ou sur les arêtes.

La figure 185 est un groupe d'octaèdres des filons du Dillenburg.

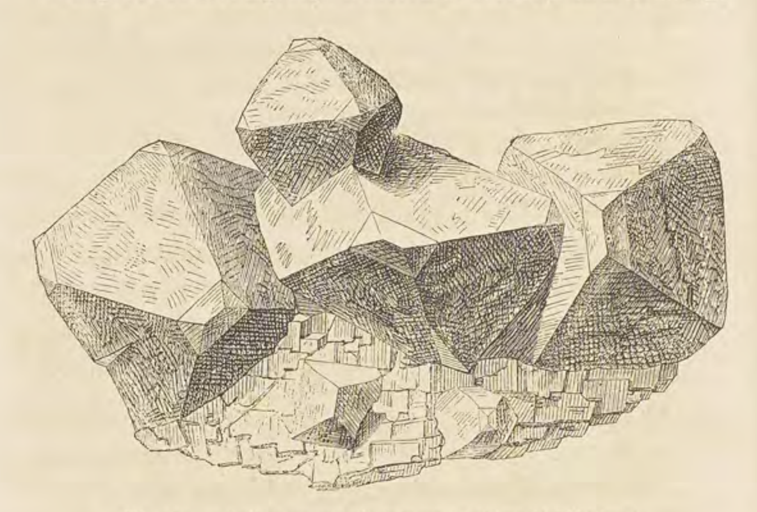


Fig. 185. — Galène, groupe de cristaux octaèdres du Dillenburg.

Ces octaèdres, tronqués par des pyramides surbaissées et quadrangulaires, conservent ainsi, malgré leurs déformations, le signe caractéristique du premier système cristallin.

Les cristaux les plus complexes sont ceux de Neudorf, au Hartz, qui accompagnent le fer spathique, figure 186.

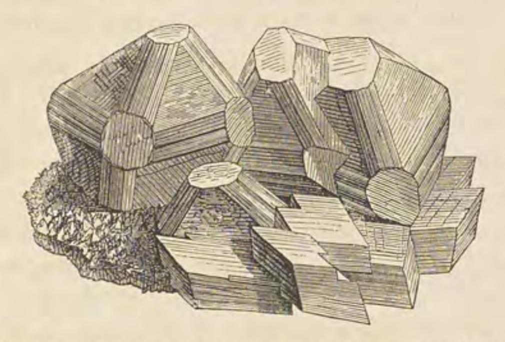


Fig. 186. — Galène, octaèdres modifiés, avec fer spathique du Hartz.

Ces cristaux sont encore des octaèdres, qui ont conservé les faces du cube, et dont les arêtes sont oblitérées par des séries de troncatures.

L'état de pureté qui caractérise les cristaux, se retrouve dans certaines galènes non cristallisées, mais dont les clivages sont nets et éclatants.

Lorsque les clivages présentent des surfaces ondulées et chagrinées, ce qui est fréquent, cela indique en général une altération de la pureté, par le mélange d'autres sulfures métalliques, principalement des sulfures de fer et d'antimoine. Lorsque la proportion des sulfures augmente, les clivages deviennent de plus en plus courts et croisés en tous sens; puis enfin, par un mélange encore plus prononcé, la galène devient grenue, moins éclatante, ce que l'on appelle à grain d'acier.

La composition des galènes grenues est très-variable; beaucoup ne contiennent que 60 et même 50 pour 100 de plomb.

La texture grenue étant l'indice d'un mélange d'autres sulfures métalliques, et le sulfure d'argent pouvant se trouver parmi ces sulfures, on a conclu quelquefois, que le galène était d'autant plus argentifère que son grain était plus fin. La concordance de ces deux faits est, il est vrai, fréquente; mais elle est loin d'être absolue. Il y a des galènes très-finement grenues qui

sont très-pauvres en argent, tandis que certaines variétés, présentant des clivages distincts, sont au contraire très-riches.

Une galène riche contiendra 0,0010 d'argent; une galène pauvre ne contiendra que 0,0002. Il y en a de plus riches, qui contiendront 3 et 4 millièmes, cela est rare. Il y en a de plus pauvres; mais toutes les galènes contiennent des traces d'argent.

Les galènes les plus pures, non argentifères, à grands clivages, se vendent sous la dénomination d'*alquifoux* pour le vernissage des poteries.

Les galènes, en se chargeant de quantités croissantes d'autres sulfures métalliques, passent à d'autres espèces minérales. Parmi ces espèces, la seule qui soit bien nettement définie est la bournonite.

BOURNONITE.

PbS + CuS + SbS.

Couleur. — Gris noirâtre, éclatant.

Densité. — 5,80.

Dureté. — Un peu plus dure que la galène.

Formes cristallines. — Prismes droits rhomboïdaux, sous l'angle de 94°; prismes rectangulaires, modifications complexes.

Point de clivages. — Cassure conchoïdale, quelquefois finement grenue.

Fusible au chalumeau', avec dégagement de vapeurs antimonieuses.

La bournonite est composée de : 40 à 42 de plomb, 11 à 13 de cuivre, 19 à 28 d'antimoine, 16 à 20 de soufre.

Ce sulfure triple est assez fréquent; dans les filons de galène; il constitue même des gîtes et des filons spéciaux. Mais les difficultés du traitement métallurgique sont telles que le minerai à base de bournonite est sans valeur.

Au point de vue minéralogique, la netteté de ses cristaux donne de l'intérêt à la bournonite.

La forme habituelle de ces cristaux (*fig.* 187) est celle de prismes rectangulaires dont les faces dominantes sont P et *g*, et dont les sommets présentent les faces M, *a*, *h*.



Fig. 187. — Bournonite du Cornwall.

Ces cristaux sont ordinairement accolés, ainsi que l'indique la figure 184; les faces *g* se réunissant en plans ondulés, les sommets ayant une tendance à déterminer par leur juxtaposition et par le rétrécissement des faces, une apparence fibreuse et striée.

PLOMB CARBONATÉ.

PbC^2.

Couleur. — Blanc; éclat gras adamantin.

Densité. — 6,50.

Dureté. — Raye difficilement le spath calcaire.

Formes cristallines. — Cristaux dérivés d'un prisme droit rhomboïdal de 117°; prismes à six pans; prismes rectangulaires; modifications variées sur les sommets.

Point de clivages. — Substance très-fragile, à cassure semi-vitreuse, avec un éclat gras caractéristique.

Facilement réductible au chalumeau. Soluble avec effervescence dans l'acide azotique.

Le plomb carbonaté, ou *plomb blanc,* suivant l'expression des mineurs, se trouve dans la plupart des gîtes de galène, comme

substance accidentelle, et surtout vers les affleurements. Par exception, il forme quelques gîtes spéciaux ; il a été exploité en très-grande quantité dans les gîtes de Dippenlinchen, près Stolberg, en Westphalie.

Les formes dominantes des cristaux de plomb carbonaté sont des prismes hexagonaux dans lesquels les faces g sont presque toujours dilatées (*fig.* 188), et dont les sommets sont formés par

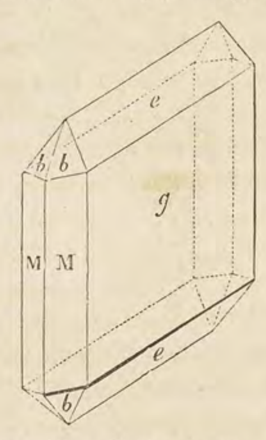


Fig. 185. — Plomb carbonaté.

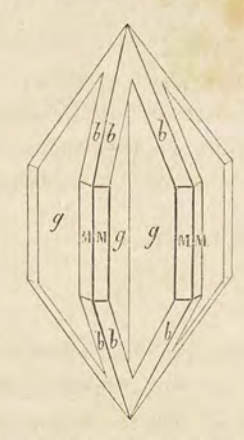


Fig. 186. — Plomb carbonaté, cristaux mâclés.

des troncatures simultanées sur les arêtes b et sur les angles e.

Très-souvent ces cristaux se groupent et se mâclent. La figure 189 représente une disposition fréquente de ces mâcles.

On peut distinguer, comme variétés, le plomb carbonaté cristallisé, translucide ou opaque; le plomb carbonaté cristallin en aiguilles ou en prismes bacillaires; enfin les variétés compactes ou terreuses.

PLOMB SULFATÉ.

PbS^3.

Couleurs. — Blanc limpide; blanc mat.

Densité. — 6,25.

Dureté. — Entre celle du spath calcaire et celle du gypse.

Formes cristallines. — Prisme droit rhomboïdal sous l'angle de 103°; dérivés multiples, octaèdres ou prismes, qui rappellent les formes de la baryte sulfatée.

Clivages. — Faiblement indiqués parallèlement aux faces. Cassure vitreuse.

Insoluble dans l'acide azotique. Fusible et réductible au chalumeau.

Le plomb sulfaté cristallisé est une substance rare. Des cristaux nombreux et variés nous viennent des gîtes de galène de Monte-Poni dans l'île de Sardaigne.

Il y a quelques années, on a trouvé au toit d'un des gîtes de galène des environs d'Alais (Gard), une substance terreuse, blanche et grisâtre, pulvérulente et dense. C'est du plomb sulfaté terreux qui est exploité. Ce plomb sulfaté, lorsqu'il est en morceaux consistants, présente quelquefois à l'intérieur, un noyau gris de galène en décomposition. Ces fragments et la disposition du gîte, en une salbande continue au-dessus de la galène, indiquent évidemment que le plomb sulfaté a été produit par une décomposition du sulfure, due à l'action prolongée des vapeurs qui ont probablement suivi cette voie.

PLOMB PHOSPHATÉ.

$3Pb^3Ph^5$.

Couleurs. — Vert, vert jaunâtre, brun.

Densité. — 6,90.

Dureté. — Raye difficilement le spath calcaire.

Formes cristallines. — Prisme hexagonal régulier, prismes hexagonaux pyramidés.

Point de *clivage.* — Cassure conchoïdale, éclat un peu résineux.

Réductible au chalumeau.

Le plomb phosphaté ou *plomb vert*, est une substance accidentelle, qui se trouve en cristaux et concrétions cristal-

lines dans un grand nombre de filons plombifères et qui, dans quelques cas, a été le minerai essentiel, notamment aux environs de Berncastel, dans la haute vallée de la Moselle.

Le plomb phosphaté est surtout un minerai d'affleurements, et beaucoup de filons ont présenté, dans les parties supérieures, des quantités notables de phosphates verts ou bruns.

Presque toutes les analyses accusent, dans les phosphates, une proportion de 5 à 10 pour 100 de chlorure de plomb.

Le plomb phosphaté se mélange aussi de *plomb arséniaté*, substance plus rare, mais qui s'isole en cristaux de même forme. Le plomb arséniaté diffère seulement par sa couleur qui est ordinairement le jaune orangé ou le jaune brun.

PLOMB CHROMATÉ.

$PbCr^3$.

Couleurs. — Rouge orangé, translucide, poussière jaune.

Densité.— 6.

Dureté. — Celle du spath calcaire.

Formes cristallines. — Prisme rhomboïdal oblique, sous l'angle de 93°; prismes modifiés sur les arêtes de sommets D, rappelant les formes du diopside.

Clivages douteux. — Substance très-fragile; cassure vitreuse avec un éclat un peu gras.

Fusible et réductible au chalumeau.

Le plomb chromaté, appelé quelquefois *plomb rouge*, à cause de sa couleur caractéristique rouge orangé, est une substance accidentelle trouvée principalement, dans les filons de Berezow, en Sibérie. Ses cristaux et ses aiguilles prismatiques, tapissent les géodes de filons quartzeux ou leurs épontes de micaschistes.

Quelques échantillons de même couleur et de mêmes formes, sont également venus du Brésil.

PLOMB MOLYBDATÉ.

$PbMo^3$.

Couleurs. — Jaune orangé, jaune chamois.

Densité. — 6,75.

Dureté. — Entre celle du spath calcaire et celle du gypse.

Formes cristallines. — Prisme droit à base carrée ; prismes pyramidés ; tables carrées ou rectangulaires, biselées ; octaèdres aigus ou basés.

Un *clivage* facile, parallèle à la base du prisme. Cassure un peu résineuse.

Fusible et réductible au chalumeau.

Le plomb molybdaté se trouve en assez grande abondance dans les mines de Bleiberg (Carinthie), en cristaux, masses cristallines lamelleuses, et surtout en masses terreuses.

Il est d'un jaune vif et résineux, lorsqu'il est cristallisé ; les variétés impures et terreuses sont d'un jaune terne.

MINERAIS DE ZINC.

Deux minerais principaux dominent dans la série des espèces à base de zinc : le zinc sulfuré ou **blende** et le zinc carbonaté ou **calamine**.

Ces deux espèces sont les seules qui se présentent en gîtes assez fréquents et assez abondants pour être considérées comme minerais; elles sont accompagnées de quelques autres espèces rares ou du moins tout à fait accidentelles.

La blende cristallisée ou cristalline, existe dans presque tous les filons ou gîtes plombifères, mais rarement en quantité assez considérable pour servir de base à une fabrication de zinc. La calamine forme, au contraire, des gîtes spéciaux, puissants, qui ont fixé l'industrie du zinc dans les contrées où ils se trouvent; ces

contrées privilégiées sont, la vallée de la Meuse, en amont et en aval de Liége, et la Silésie.

Des fonderies importantes, établies dans ces deux contrées, y ont localisé l'industrie du zinc, basée non-seulement sur les minerais qui s'y trouvent, mais sur tous ceux que l'on fait venir de très-loin. C'est ainsi que les fonderies de la Vieille-Montagne traitent aujourd'hui, non-seulement les minerais de la Belgique, mais ceux qu'elle fait venir en quantités considérables de l'Allemagne, de la Suède et de l'Espagne.

La fabrication du zinc en Belgique, dépasse aujourd'hui 20 000 tonnes ; celle de la Silésie atteint le même chiffre.

Depuis qu'on utilise les blendes, il s'est établi d'autres usines dans la Prusse rhénane et en Angleterre, qui produisent également des quantités notables.

Comme le traitement des minerais de zinc exige des proportions considérables de houille, les usines de traitement se sont toujours établies dans le voisinage des houillères et l'on y transporte les minerais. Il s'est donc organisé un commerce très-actif de minerais de zinc, qui se vendent suivant des bases diverses, sur lesquelles on sera fixé par l'exemple ci-après.

Les usines belges achètent les calamines calcinées de la province de Santander, rendues à Anvers, où le titre est constaté par des essais faits par voie humide, au moyen de liqueurs titrées.

On admet, comme bases préliminaires : 1° que tout minerai doit subir une perte de 15 pour 100 pour compenser les pertes de la volatilisation ; 2° que les frais de traitement de 1 000 kilogrammes de minerais calcinés, s'élèvent à 80 francs.

De plus, le fondeur s'attribue, comme bénéfice, 10 francs par quintal de zinc obtenu.

Exemple : 1 000 kilogrammes de calamine calcinée, supposée au titre de 65 pour 100 de zinc, sera comptée pour 50 pour 100, déduction faite des 15 pour 100 de perte.

Le cours du zinc étant de 60 francs les 100 kilogrammes, la tonne de minerai produira 500 kilogrammes de zinc valant 300 francs, dont à déduire 50 francs pour bénéfice de fonderie, reste 250 francs.

On compte pour frais de traitement 80 francs par tonne de minerai, pour transport d'Anvers aux usines 8 francs, ensemble 88 francs de frais. Reste net, le prix de 162 francs.

Cela posé, toute différence de 1 pour 100 dans le titre du minerai, se décompte par 5 francs pour chaque unité de métal. Ainsi la tonne de minerai calciné

Au titre de 65 pour cent vaudra...	162 fr.
— 60	137
— 55	112
— 50	87
— 45	62

ZINC OXYDÉ.

L'oxyde de zinc est une substance rare, qui n'a été trouvée en quantité notable que dans le seul gîte de New-Jersey, dans l'Amérique du Nord.

Cet oxyde de zinc est rouge-brique, d'un éclat un peu résineux ; il paraît devoir cette couleur à sa combinaison avec une proportion de 12 à 14 pour 100 d'oxyde de manganèse.

Sa densité est 5,40 ; il raye le spath calcaire.

Il n'a pas de forme déterminable, mais il présente quelquefois des clivages qui semblent conduire à un prisme hexagonal régulier. Sa cassure est donc lamelleuse; dans le sens transversal aux clivages, ou dans les échantillons compactes, elle est grenue, inégale et un peu résineuse.

BLENDE.

ZnS.

Couleurs. — A l'état de pureté, la blende est jaune et transparente; jaune clair ou jaune rougeâtre. Impure et mélangée d'autres sulfures, elle devient jaune brun translucide, brun opaque et noire. L'éclat de la blende pure et translucide est résineux; celui de la blende impure, opaque, brune ou noire, est semi-métallique.

Densité. — 4,15.

Dureté. — Raye le spath calcaire. Rayée par la chaux phosphatée.

Formes cristallines. — Tétraèdre. Octaèdre. Dodécaèdre.

Six clivages égaux, conduisant au dodécaèdre rhomboïdal. Cassure éminemment lamelleuse.

Infusible au chalumeau ; se grille et se réduit difficilement. Soluble dans l'acide azotique.

La blende pure et translucide est une substance rare, qui contient : 66,34 de zinc et 33,66 de soufre.

Presque toujours sa pureté est altérée par un mélange de sulfure de fer s'élevant jusqu'à 15 et 20 pour 100.

Quelques blendes contiennent de 1 à 2 pour 100 de sulfure de cadmium.

La blende est un minerai très-fréquent et disséminé, plutôt que très-abondant. Jusqu'en 1840 elle était négligée, à cause des difficultés du grillage et du traitement métallurgique, et considérée tout à fait commune excessive; on la rejetait dans les déblais des exploitations de galène où elle se trouve presque constamment. A cette époque, on construisit des fours de grillage qui permirent de traiter la blende et d'en offrir à peu de chose près le même prix que des calamines; mais alors les quantités fournies par l'exploitation de la plupart des filons où elle était signalée comme abondante, furent trouvées beaucoup moindres qu'on ne le pensait. Cependant ce minerai joue un rôle assez important dans la production du zinc.

La blende cristalline et lamelleuse est la variété la plus ordinaire. Dans ses mélanges avec la galène, on la distingue immédiatement, soit à ses clivages multiples, à ses reflets rougeâtres, à son aspect résineux; soit, lorsqu'elle est ferrugineuse, à son aspect noir, lamelleux et semi-métallique.

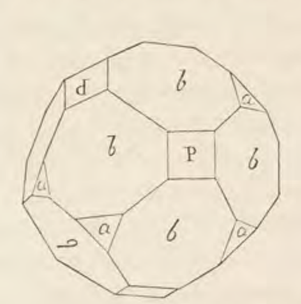
Les plus beaux cristaux viennent des filons de Kapnick en Hongrie, ils se rapportent au tétraèdre, à l'octaèdre, au dodécaèdre, et conservent souvent les six troncatures du cube.

Les cristaux tétraèdres sont assez rares. Les octaèdres, plus fréquents, sont presque toujours tronqués par les faces du cube. Les groupes cristallins présentent une multitude de stries et de décroissements, dont la figure 190, (d'après un échantillon de Kapnick en Hongrie) donnera une idée assez précise.



Fig. 190. — Blende octaèdre de Kapnick.

Souvent les cristaux de blende ont des formes arrondies et surchargées de facettes qui se rapportent à des dodécaèdres rhomboïdaux ou pentagonaux, et présentent en outre les faces du cube P, ou celles de l'octaèdre *a*. La



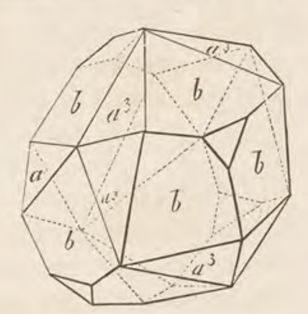


Fig. 191. — Blende dodécaèdre.

figure 191 donne idée de la construction de ces cristaux généralement assez mal formés, quelquefois hémitropes et compliqués par des décroissements mixtes a^3.

Les géodes cristallines abondent dans tous les filons de blende, mais il est en général difficile d'y reconnaître les formes des cristaux, parce que les faces des dodécaèdres rhomboïdaux et pentagonaux s'y combinent avec celles de l'octaèdre et de l'icosaèdre, de manière à produire les apparences les plus complexes.

La *blende compacte et concrétionnée* forme des gîtes importants dans la vallée de la Meuse, où elle est exploitée concurremment

avec les calamines, les galènes et les pyrites de fer; ces diverses substances forment des magmas dans lesquels la galène et la pyrite blanche radiée sont seules à l'état cristallin.

La blende concrétionnée est jaune chamois, d'un aspect lithoïde, à cassure compacte et sans aucun éclat métallique. On ne reconnaît sa nature qu'à sa densité qui reste de 3,50 à 4, à son aspect un peu résineux qui ne peut appartenir, non plus que la densité, à aucune roche calcaire ou quartzeuse.

La structure de ces blendes compactes est souvent concrétionnée et stalactiforme, disposée en zones concentriques avec de la galène et de la pyrite. Une remarque a été faite plusieurs fois dans les fours qui servent au grillage de la blende compacte; lorsque des fragments ont été chauffés pendant longtemps à une haute température, puis soumis par suite de quelque incident à un refroidissement très-lent, sans que le grillage ait pu atteindre le centre du fragment, on trouve quelquefois dans ce centre, la blende brune, lamelleuse et translucide, en un mot, à l'état cristallin. On pourrait donc considérer la blende compacte et concrétionnée comme résultant, de même que les calamines, de concrétions par voie humide; tandis que la blende lamelleuse est celle qui a été formée par les phénomènes de sublimation et d'émanations directes de l'intérieur du globe vers la surface.

ZINC CARBONATÉ.

ZnC^2.

Couleurs. — Blanc; grisâtre; jaunâtre; verdâtre. Aspect lithoïde.

Densité. — 4,45.

Dureté. — Raye le spath fluor. Rayé par le feldspath.

Formes cristallines. — Rhomboèdre de 107°,40′ Rhomboèdres aigus. Les angles des cristaux sont souvent émoussés et arrondis.

Trois clivages parallèles aux faces du rhomboèdre primitif de 107° 40′. La cassure est lamelleuse, mais les lames sont géné-

ralement courtes, entre-croisées, et déterminent des cassures saccharoïdes.

Au chalumeau, sur le charbon, se réduit en fumées d'oxyde de zinc en produisant une vive clarté. Soluble avec une faible effervescence dans l'acide azotique.

Le zinc carbonaté est le véritable minerai, désigné sous le nom de *calamine*, nom que l'on a voulu à tort, conserver pour le zinc silicaté. De temps immémorial les mineurs et les métallurgistes appellent calamine, le zinc carbonaté que l'on exploite sur un grand nombre de points, et notamment à Moresnet, Vieille-Montagne (Belgique), dans la Prusse rhénane, en Silésie, et en Espagne dans la province de Santander.

Dans ces gîtes, la calamine se présente à l'état saccharoïde, compacte, concrétionné, terreux, avec des couleurs variées et souvent bariolées par des oxydes de fer. On y trouve de petites géodes cristallines à l'intérieur desquelles se dégagent des rhomboèdres primitifs ou aigus. Les angles émoussés des rhomboèdres aigus donnent souvent à ces cristaux la forme de *fuseaux*.

L'analyse des cristaux les plus purs a donné ZnC^2:

		OXYGÈNE.	RAPPORT.
Oxyde de zinc.............	64,8	12,87	1
Acide carbonique..........	35,2	25,46	2

Les variétés concrétionnées sont quelquefois blanches et pures, le plus souvent grises ou jaunâtres, par suite de mélanges adventifs, dans lesquels les hydroxydes de fer jouent toujours le rôle principal.

Certains minerais des environs de Santander en Espagne, à l'état de concrétions blanches et crayeuses, sont des hydrocarbonates de zinc et contiennent 10 et 15 pour 100 d'eau.

Le gîte de Moresnet, désigné sous le nom de Vieille-Montagne, a été longtemps exploité à ciel ouvert. L'ensemble des ateliers d'abattage présentait alors un aspect jaunâtre qui attestait le mélange de l'hydroxyde de fer; lorsqu'on s'approchait, on voyait que le minerai était principalement terreux ou compacte, mais

que, sur beaucoup de points, il s'isolait en concrétions plus pures, blanches ou verdâtres, à zones translucides, dans lesquelles on trouvait des géodes de petits cristaux rhomboédriques.

Ces parties concrétionnées ou cristallines étaient seules caractérisées comme zinc carbonaté; quant aux parties compactes ou terreuses, leur richesse s'évaluait par la densité, qui permettait aussi d'écarter par le lavage, les parties les moins denses et par conséquent les moins riches; le rendement de ces minerais ne devant jamais descendre au-dessous de 20 pour 100, et ayant été maintenu pendant longtemps au titre de 35.

ZINC SILICATÉ.

$2ZnSi + Aq.$

Couleurs. — Blanc limpide, blanc mat, grisâtre.

Densité. — 3,35.

Dureté. — Celle du zinc carbonaté.

Formes cristallines. — Prisme droit rhomboïdal, sous l'angle de 104°; prismes hexagonaux aplatis; tables rectangulaires biselées.

Un seul clivage facile, parallèle au plan diagonal. Substance fragile; cassure semi-vitreuse dans le sens transversal au clivage.

Au chalumeau, se gonfle en donnant un peu d'eau, et reste infusible. Soluble, sans effervescence, dans les acides, où il forme gelée.

Le zinc silicaté est quelquefois mélangé au carbonate. Lorsqu'il est cristallisé ou cristallin, la distinction est facile; mais, lorsqu'il est concrétionné et compacte, on ne le distingue plus que par des caractères moins précis.

La distinction de ces deux espèces est cependant importante; car le silicate, bien qu'à l'état de pureté, il contienne 55 pour 100 de zinc, ne se réduit pas dans les cornues des fours; c'est, par conséquent, un minerai sans valeur.

Cette distinction se fait au moyen des formes cristallines caractéristiques du silicate, ces formes n'ayant aucune analogie avec les rhomboèdres du carbonate.

Les cristaux de silicate sont des prismes droits, rhomboïdaux, tronqués sur les arêtes *g*, et généralement modifiés par des troncatures sur les angles A et E.

La figure 192 représente les deux formes dominantes.

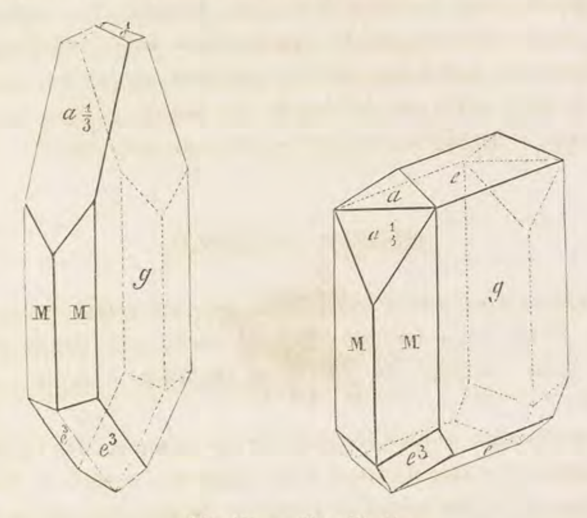


Fig. 192. — Zinc silicaté.

A Moresnet, où le zinc silicaté se trouve en petites masses subordonnées, mais assez fréquentes dans le carbonate, on le distingue par les petites géodes cristallines qui s'y développent toujours; par son absence de coloration, qui résulte de ce qu'il est très-peu mélangé d'oxyde de fer; par sa grande fragilité.

Dans les fours de grillage, on reconnaît encore les fragments de silicate, par le peu d'altération qu'ils ont éprouvé après leur calcination.

On remarque surtout, dans les masses grillées, des fragments qui ne présentent pas même la légère déformation qui résulte du départ de l'eau, et l'on a constaté, en effet, qu'il existe un *silicate anhydre*, auquel on a donné le nom de *willémite*.

La **willémite**, *ZnSi*, se trouve en nodules très-compactes, jaunes ou rougeâtres, dans lesquels on distingue, le plus souvent, de très-petits cristaux, en prismes hexagonaux, avec sommets rhomboédriques.

Sa dureté la signale tout de suite, car elle raye le verre ; elle est également plus dense que le silicate ordinaire, et pèse 4,10.

Nous avons dit qu'on avait voulu conserver la dénomination de calamine pour les silicates de zinc ; dénomination inacceptable, puisque les mineurs, les commerçants et les métallurgistes appliquent ce nom à tout minerai traitable, propre à la fabrication du zinc, autre que la blende. Les usages pratiques doivent prévaloir et les silicates conserver les noms indiqués.

MINERAIS D'ANTIMOINE

Les minerais d'antimoine existent dans une multitude de gîtes et de filons, sans être en quantité réellement considérable, et le métal fabriqué, ou régule, se maintient à des prix assez élevés.

Le sulfure est le plus répandu de ces minerais. On l'exploite sur plusieurs points du Gard et de l'Ardèche ; à Erza en Corse ; en Toscane, où les mines de Pereta et Monte-Aüto en fournissaient, il y a quelques années, des quantités considérables. Des cargaisons de sulfure, provenant de l'île de Bornéo, sont importées en Angleterre. Quant aux oxydes d'antimoine, ce n'est qu'en Algérie qu'ils forment des gîtes importants.

L'antimoine est d'ailleurs un métal d'un emploi très-borné ; la France n'en consomme guère que 200 tonnes par année. Ce métal ne sert en effet que pour la composition de quelques alliages, tels que le métal d'imprimerie, ou l'alliage dit métal anglais, employé pour la fabrication de théières, etc.

ANTIMOINE NATIF.

On donne ce nom à un métal blanc d'étain, aigre et cassant :

tantôt lamelleux, à facettes brillantes, tantôt plus ou moins grenu, qui a été trouvé dans plusieurs mines, et notamment dans les filons d'Allemont en Dauphiné.

Ce métal est en effet l'antimoine natif, allié à des quantités d'arsenic qui varient depuis quelques centièmes jusqu'à 40.

Plus l'antimoine natif est pur, plus il est blanc et lamelleux, l'antimoine pur ayant trois clivages parallèles aux faces d'un rhomboèdre de 117°.

Parmi les minerais d'antimoine qui sont expédiés de l'île de Bornéo, minerais qui consistent principalement en sulfures, il se trouve accidentellement de l'antimoine natif, très-blanc et éclatant, en nodules et veines disséminées dans une argile grise.

ANTIMOINE SULFURÉ.

SbS^3.

Couleur. — Gris bleuâtre ; éclat métallique vif et miroitant dans les cassures fraîches ; se ternit par une longue exposition à l'air.

Densité. — 4,60.

Dureté. — Rayé par le spath calcaire.

Formes cristallines. — Prisme droit rhomboïdal sous l'angle de 91° ; sommets pyramidés.

Un clivage très-facile, suivant un plan diagonal. La cassure dans les autres sens est inégale, arrachée et pulvérulente. La poussière est gris noirâtre, très-tachante.

Fusible à la simple flamme d'une bougie. Au chalumeau, se grille facilement, en émettant des vapeurs jaunes d'oxyde.

Le sulfure est le minerai d'antimoine le plus répandu. Sa couleur gris bleuâtre pourrait le faire confondre avec la galène, mais son clivage miroitant, sa cristallisation en prismes allongés et souvent radiés, sont des caractères tout à fait distinctifs.

Lorsque les cristaux s'isolent dans les géodes, ils affectent des

dispositions entre-croisées et surtout radiées. Ces prismes sont toujours cannelés et bacillaires, de telle sorte qu'il n'est pas possible de les mesurer.

La figure 193 représente un groupe de cristaux bacillaires, avec sommets pyramidés.



Fig. 193. — Antimoine sulfuré.

L'analyse de ces cristaux conduit à la formule SbS^3.

Antimoine............	73,50
Soufre................	26,25

Souvent les prismes sont très-petits et aciculaires, de sorte que le minerai est fibreux et radié.

L'antimoine sulfuré existe aussi à l'état compacte, auquel cas il est grenu, peu éclatant et reconnaissable à sa couleur plus bleuâtre que celle de la galène ; à sa moindre dureté ; enfin au besoin à sa grande fusibilité, et aux vapeurs antimonieuses que détermine l'action du chalumeau.

La fusibilité du sulfure d'antimoine est mise à profit dans son traitement métallurgique, dont la première opération est toujours une liquation, par fusion, de manière à débarrasser le minerai de toute gangue.

Les filons antimonifères sont en général des filons spéciaux, dans lesquels ce minerai est à peu près seul.

On y a rencontré en outre plusieurs espèces accidentelles, aciculaires ou fibreuses, composées de sulfure d'antimoine, combiné avec des sulfures de plomb et de fer.

La plupart des filons antimonifères contiennent, vers leurs affleurements, des quantités notables d'*oxydes* jaunâtres, terreux ou compactes qui paraissent résulter de la décomposition des sulfures. Ce minéral, ordinairement accidentel, est devenu, au contraire, très-commun par suite de la découverte de gîtes spéciaux, assez importants, en Algérie, dans la province de Constantine.

JAMESONITE.

$3PbS + 2SbS^3$.

Couleur. — Gris métallique, assez foncé.

Densité. — 5,50.

Dureté. — Celle du spath calcaire.

Formes cristallines. — Prismes allongés, indéterminés. Conduisant à une structure fibreuse et quelquefois radiée. La variété dite *zinkénite* est en prismes hexagonaux.

Fusible au chalumeau, décrépite et donne des fumées antimoniales.

La jamesonite ne pourrait être confondue qu'avec l'antimoine sulfuré dont elle n'a pas le gris bleuâtre éclatant, ni le clivage caractéristique. Sa couleur est un gris d'acier, d'autant plus foncé que la proportion de sulfure d'antimoine est plus considérable.

Les analyses sont en effet variables et l'on suppose qu'il y a plusieurs bisulfures distincts, ainsi par exemple :

La *jamesonite* $3PbS + 2SbS$, contient : 40 de plomb et 33 d'antimoine.

La *zinkénite* $PbS + SbS^2$ contient 44 d'antimoine et 32 de plomb.

La jamesonite, caractérisée par sa texture fibreuse et quelquefois soyeuse, forme des filons spéciaux. A Pontvaux, en Auvergne, on en a trouvé qui contient une proportion notable d'argent aurifère.

ANTIMOINE OXYDÉ.

Couleurs. — Blanc, quelquefois translucide. Grisâtre ou jaunâtre et opaque.

Densité. — 5,30.

Dureté. — Rayé par le spath calcaire.

Forme cristalline. — L'octaèdre régulier.

Point de clivages. — Très-fragile, cassure inégale et résineuse, éclat gras.

Au chalumeau, se volatilise facilement.

Les oxydes d'antimoine exploités en Algérie, sont en amas cristallins et compactes. A l'état cristallin, l'oxyde d'antimoine est saccharoïde, avec un éclat adamantin qui rappelle celui du plomb carbonaté, il contient des géodes dans lesquelles on distingue des octaèdres réguliers.

Les variétés compactes pénètrent souvent les argiles grises crétacées, de manière à ne s'en distinguer que par leur grande pesanteur spécifique.

Sur plusieurs points de la même contrée, on a trouvé l'oxyde d'antimoine en masses fibreuses ou radiées, d'un blanc soyeux et nacré, quelquefois jaunâtre, avec deux clivages, sous l'angle de 136°. Ces caractères indiquent que l'antimoine oxydé est dimorphe et que, dans certains cas, il cristallise en prismes droits rhomboïdaux.

Les travaux ouverts sur les gîtes d'oxyde d'antimoine, en Algérie, ont rencontré en plusieurs points les sulfures qui paraissent devoir être en profondeur le minerai principal.

MINERAIS D'ÉTAIN.

L'étain est un des métaux les plus recherchés et dont on ne produit jamais assez. S'il était plus abondant et d'un prix moins

élevé (il vaut aujourd'hui 3 000 francs la tonne), les débouchés en seraient très-nombreux. Outre son emploi direct pour l'étamage, les soudures et pour la poterie d'étain, il trouve en effet dans la fabrication des fers-blancs et des bronzes, des emplois qui ne sont limités que par son prix.

Il n'existe qu'un seul minerai, l'oxyde d'étain, et pourtant on trouve dans le commerce deux qualités d'étain très-distinctes, l'*étain d'alluvion* et l'*étain de roche*.

L'étain d'alluvion vient principalement de Banca et de Malacca. Il est obtenu des minerais lavés, c'est-à-dire recueillis par le lavage de certains sables. L'oxyde d'étain dégagé par le lavage est très-pur, parce que l'action des eaux l'a isolé de tout minerai étranger et notamment de tout sulfure métallique; l'étain d'alluvion qui en provient, est spécialement caractérisé par un blanc métallique plus clair et par le cri particulier que fait entendre une baguette d'étain pur, lorsqu'on lui fait subir le moindre ploiement. L'exploitation des Indes est évaluée à 10 000 tonnes par année.

En Cornwall, on exploite des filons stannifères, et l'on obtient un minerai dans lequel l'oxyde d'étain est généralement mélangé de pyrites et surtout de mispickel. Les actions auxquelles ont été soumises les alluvions stannifères, ont complétement dégagé l'oxyde d'étain de ces mélanges, tandis que l'exploitation directe ne peut l'en isoler. Il en résulte que l'étain obtenu par la fusion de ces minerais est moins pur, c'est celui qu'on distingue sous le nom d'*étain de roche*. La production du Cornwall est de 1 500 à 2 000 tonnes.

ÉTAIN OXYDÉ

Couleurs. — Brun; aspect lithoïde, un peu résineux.

Densité. — 6,95.

Dureté. — Égale à celle du quartz; fait feu avec l'acier.

Formes cristallines. — Prisme droit à base carrée pyramidé. Les prismes sont ordinairement mâclés.

Point de clivages. Cassures inégales, d'un éclat souvent résineux.

Infusible au chalumeau. Réductible avec la soude. Inattaquable par les acides.

L'oxyde d'étain est le seul minerai exploité. Il est habituellement mélangé d'un peu d'oxyde de fer et les cristaux eux-mêmes en contiennent environ un centième; leur composition étant :

Étain	77,50
Oxygène	21,50
Oxyde de fer, etc	1,00

Les cristaux en prismes carrés pyramidés, sont ordinairement mâclés suivant les faces des pyramides.

Il résulte de ces mâcles, deux sortes d'angles rentrants, produits soit par les faces de la pyramide, soit par les faces du prisme, que l'on désigne sous la dénomination de *becs* ou *genoux*

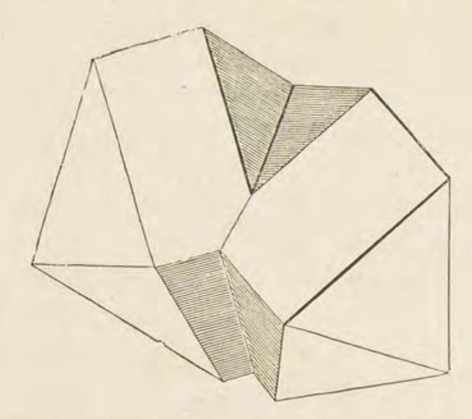


Fig. 194. — Étain oxydé, prismes carrés, pyramidés, mâclés.

d'étain. Cette disposition caractéristique représentée figure 194 désigne l'espèce encore mieux que la forme des cristaux.

Cette forme est quelquefois modifiée, principalement par des troncatures sur les arêtes du prisme, qui le transforment en

prisme à huit pans. Les arêtes des pyramides sont également émarginées.

Le corps du prisme est souvent très-court et même complétement supprimé, de sorte que les pyramides s'accolant base à base forment des octaèdres. Ces octaèdres mâclés et le plus souvent émarginés sur les arêtes des sommets, donnent lieu à la disposition représentée figure 195, non moins caractéristique que la précédente.

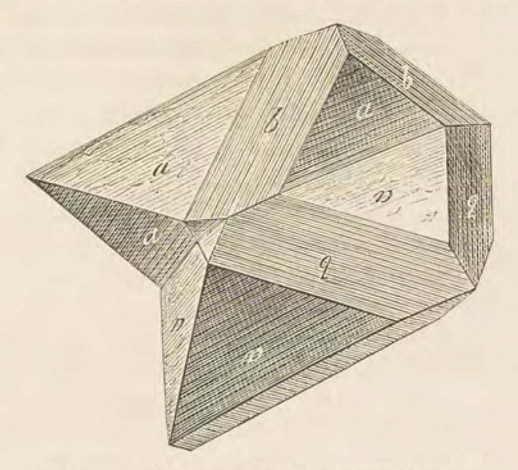


Fig. 195. — Étain oxydé, octaèdres émarginés, mâclés.

Les cristaux d'étain oxydé, sont rarement complets; ils sont engagés dans les gangues et enchevêtrés les uns dans les autres de manière à ne présenter que des angles saillants ou rentrants. Le cristal représenté figure 196 est un exemple des plus complets; il provient des filons de la Saxe.

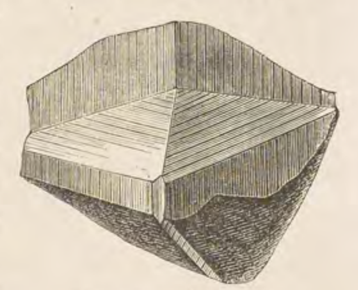


Fig. 196. — Étain oxydé.

L'oxyde d'étain existe à l'état concrétionné. Ces concrétions arrondies, quelquefois fibreuses et à zones concentriques, de

couleur brune et brune jaunâtre, sont appelées *étain de bois ;* elles ont en effet un aspect ligneux.

La dureté de l'oxyde d'étain et sa grande pesanteur spécifique, suffisent pour le caractériser, même à l'état compacte.

L'oxyde d'étain ne se trouve avec une abondance réelle que dans l'Inde, à Banca et à Malacca, dont la production paraît entièrement obtenue par le lavage de sables stannifères; il a résisté en vertu de sa dureté, aux actions érosives qui ont formé ces alluvions, et sa grande densité permet de l'isoler par des lavages.

MINERAIS DE MERCURE.

Les minerais de mercure forment des gîtes complétement spéciaux et isolés des autres métaux.

Dans presque tous ces gîtes, on a trouvé du mercure natif, en gouttelettes disséminées dans les pores et les cavités des roches cinabrifères. Souvent lorsqu'on perce un trou de mine, ces gouttelettes se rassemblent au fond et l'on peut en recueillir des quantités notables.

Le mercure natif ne présente aucun caractère particulier, c'est le métal blanc éclatant, liquide et volatil, pesant 13,55.

Le cinabre est le seul minerai de mercure qui soit assez abondant, encore ce minerai n'existe-t-il que sur quelques points. Almaden est un gîte unique en Europe, et c'est seulement en Californie qu'on en a trouvé un autre qui peut lui être comparé.

L'étamage des glaces, qui est le principal débouché du mercure en Europe, n'en exige cependant que de faibles quantités. La France n'en consomme qu'environ 120 000 kilogrammes par année. C'est le traitement métallurgique des minerais d'argent et d'or qui absorbe presque la totalité de la production. Chaque kilogramme d'argent produit par amalgamation détermine, en effet, une perte d'environ un kilogramme de mercure, de telle sorte qu'il s'est établi une véritable solidarité dans la production des deux métaux.

La production des mines d'Espagne est de 2500 tonnes par année.

Celles d'Idria en Carniole, de Ripa et de Selvena en Toscane, ajoutent à peine quelques centaines de tonnes à ce produit européen, presque entièrement expédié dans l'Amérique du Sud.

Les mines de la Californie et du Mexique fournissent environ 1,000 à 1 500 tonnes.

Aussi, malgré les recherches et les travaux qui ont pour but les minerais de mercure, ce métal se maintient-il au prix de 6 à 7 000 francs la tonne, prix très-élevé, qui réagit d'une manière sensible sur la production de l'argent.

MERCURE SULFURÉ.

Cinabre. HgS.

Couleur. — Rouge vermillon, vif, translucide. Rouge sombre opaque.

Densité. — 8.

Dureté. — Rayé par le spath calcaire.

Formes cristallines. — Rhomboèdre aigu de 72°; rhomboèdres tronqués. Cristaux généralement complexes et mal formés.

Six clivages conduisant à un prisme hexagonal. La cassure est donc lamelleuse pour les variétés cristallisées ; plus souvent elle est grenue et saccharoïde.

Se volatilise au chalumeau.

Le cinabre est le seul minerai de mercure assez abondant pour être exploité. Ses cristaux sont rares, son état habituel étant la texture saccharoïde ou même l'état compacte.

Les cristaux contiennent 85 pour 100 de mercure.

On distingue à Almaden le cinabre *clair*, qui est d'un rouge vif, cristallin et saccharoïde, et le cinabre *obscur*, qui est la variété compacte et d'un rouge sombre.

Le peu de dureté de ce minéral permet de le couper et de le

tailler en objets de fantaisie ; mais les blocs purs sont assez rares ; le titre moyen des minerais exploités à Almaden n'étant que 10 à 12 pour 100 de mercure.

Le cinabre d'Almaden est souvent mélangé d'argile, de quartz et des roches encaissantes du gîte. Il imprègne ces roches en perdant toute apparence de structure cristalline, leur richesse ne pouvant être appréciée que par la couleur et par l'augmentation de la densité.

A Idria, en Carniole, on exploite une mine dans laquelle le cinabre est mélangé à des argiles bitumineuses. Il en résulte un minerai d'un rouge très-sombre et même, le plus souvent, d'un brun foncé.

Le prix élevé du mercure permet d'exploiter des minerais qui ne contiennent pas plus de 2 pour 100.

MINERAIS DE CUIVRE.

Le cuivre est un des métaux les plus essentiels et sa production reste constamment au-dessous des besoins. Les efforts de l'industrie moderne n'ont pu en abaisser le prix, toujours oscillant entre 2400 et 3 000 francs la tonne.

Ce prix élevé et la facilité d'en réaliser immédiatement la valeur sur toutes les places du commerce, a toujours été un stimulant des plus vifs pour la recherche et l'exploitation des minerais de cuivre. Cependant la production repose presque entièrement sur quelques localités privilégiées qui sont : les exploitations du Lac supérieur (Amérique du Nord) ; celles du Chili, de la Bolivie et de Cuba (Amérique du Sud) ; celles de l'Australie ; de l'Oural ; du Cornwall ; de la Suède et de la Norwége et enfin de quelques gîtes de l'Allemagne et de l'Italie, plus remarquables sous le rapport géologique que par le chiffre de leurs extractions.

La production du cuivre, non compris celle de l'Asie qui en fabrique aussi d'assez grandes quantités, a été évaluée ainsi qu'il suit en nombres ronds :

	tonnes.
Angleterre	14 000
Amérique du Sud	18 000
Amérique du Nord	7 000
Russie	6 500
Australie	3 500
Autriche	2 500
Suède et Norwége	2 000
Allemagne	1 500
Toscane	500
Total .... :	54 500

Les espèces minérales à base de cuivre sont nombreuses, et bien que la plupart ne soient que des substances accidentelles, cependant aucun autre métal ne présente des minerais aussi variés.

Les minerais essentiels sont les sulfures, et, parmi ces sulfures, celui que l'on appelle la pyrite cuivreuse, fournit plus des deux tiers du cuivre fabriqué. Mais, sur quelques points, les autres minerais sulfurés abondent et même dominent la pyrite. C'est ainsi qu'à Monte Catini, en Toscane, le cuivre sulfuré et le cuivre sulfuré panaché sont comptés comme minerais essentiels ; c'est ainsi que le cuivre gris est le minerai exclusif dans le goupe des filons de Mouzaïa (Algérie), dans quelques filons de Dillenburg (Westphalie), etc.

L'état natif est exceptionnel pour les métaux ; cependant, le cuivre natif est exploité dans les gîtes du lac Supérieur. Le cuivre oxydulé a abondé à Chessy. Le cuivre carbonaté bleu a été dans ce même gîte le minerai dominant. La malachite ou cuivre carbonaté vert a été signalée comme minerai très-important, dans quelques gîtes du Sénégal et de la Sibérie. Enfin les chlorures nous arrivent des mines de Cobija au Chili.

La valeur des minerais de cuivre dépend à la fois de leur titre, de leur composition, du prix courant du cuivre fabriqué et du point où ils se trouvent.

Le traitement métallurgique de ces minerais se fait, en général, dans les contrées dont la situation est favorable au double

point de vue de la facilité des transports et du bon marché de la houille.

Les usines principales sont celles de Swansea dans le pays de Galles, où sont transportés les minerais du Cornwall, de Cuba, des côtes du Chili, de l'Australie, etc... Ce point est devenu le marché principal, qui fixe à la fois le prix du cuivre et la valeur des minerais.

Le titre des minerais est très-variable, et doit être d'autant plus élevé que les mines sont plus éloignées des fonderies. Ainsi, tandis que le titre moyen des minerais du Cornwall dépasse à peine 7 pour 100, celui des minerais de l'Amérique et de l'Australie varie de 12 à 33.

Ces variations de titre compliquent beaucoup les calculs nécessaires pour fixer la valeur des minerais. En effet, les frais de traitement métallurgique pour la fabrication d'une tonne de cuivre qui devra être extraite de trois tonnes de minerai, seront beaucoup moindres que s'il faut l'extraire de 12 ou 14 tonnes. Cela est vrai pour le chiffre du traitement rapporté à la tonne de cuivre; mais, en rapportant le prix du traitement métallurgique à la tonne de minerai, ce sera le contraire.

Le prix du traitement par tonne de minerai (ce que l'on appelle *les charges*), devra donc être d'autant plus élevé que le minerai sera plus riche.

Ainsi, par exemple, le minerai étant supposé au titre de 33 pour 100, le prix de fabrication d'une tonne de cuivre sera de 350 francs; les charges par tonne de minerai s'élèveront donc à 115^{f},65. Supposons le minerai à 7 pour 100, le prix de fabrication de la tonne de cuivre sera de 700 francs, et les charges par tonne de minerai ne seront plus que de 50 francs.

Il est difficile de trouver une formule pour la solution du problème de l'évaluation des minerais; la méthode adoptée à Swansea a déplacé la difficulté sans la résoudre, voici comment on procède:

Un navire chargé de minerai de cuivre arrive à Swansea; il est adressé à un commissionnaire qui fait immédiatement dé-

barquer et peser ce minerai, le fait bocarder, s'il y a lieu, lotir, et procède aux prises d'essai. Une portion de chaque prise est remise aux essayeurs, le reste est mis en sacs et scellé, pour les cas de difficultés. Les essais sont faits par voie sèche et le titre est appliqué à chaque lot mis en tas et pesé, déduction faite de l'humidité.

Le pesage se fait en tonnes de Swansea, la tonne étant composée de 21 quintaux de 112 livres, soit de 1 066 kilogrammes.

La perte que l'on déduit du poids brut du minerai pour humidité ou autres causes, s'estime en *drams* par livre anglaise, le drams étant $\frac{1}{16}$ d'once de 16 à la livre anglaise soit $\frac{1}{256}$.

Le prix du traitement métallurgique, ou ce qu'on appelle les *charges* du minerai, sont fixées d'une manière constante à 2 livres sterling 4 schellings (69^{fr},50 par tonne).

Ceci posé, le jour de l'adjudication on applique au minerai un *standart*, c'est-à-dire une évaluation spéciale du prix de la tonne du cuivre qui s'y trouve contenu. Les minerais faciles à traiter, ayant, par exemple, du spath fluor pour gangue, les minerais carbonatés ou hydrosilicatés, auront souvent un standart plus élevé que le prix courant du cuivre fabriqué. Les minerais contenant de l'arsenic ou de l'antimoine auront, au contraire, un standart plus bas que le prix courant du cuivre. Mais ce qui fait surtout varier le standart, c'est le titre du minerai ; ainsi par exemple :

Soit du minerai à 7 $\frac{1}{2}$ pour 100 de cuivre.

Il faudra 13 tonnes $\frac{1}{3}$ pour produire une tonne de cuivre. Admettons que 127$^{L.}$ 19$^{sch.}$ 3$^{p.}$ soient le standart, c'est-à-dire le prix attribué à la tonne de cuivre contenu dans le minerai.

Le standart étant déterminé, l'adjudication détermine ainsi le prix du minerai :

	l. st.	sch.	p.
Les charges seront 13 $\frac{1}{3}$ × 2$^{l. st.}$,15$^{sch.}$......	36	13	1
Le minerai se trouve évalué à 6$^{l. st.}$,17$^{sch.}$ la tonne. 13 $\frac{1}{3}$ × 6$^{l. st.}$,17$^{sch.}$ vaudront......	91	6	2
TOTAL	127	19	3

Mais dans le compte ainsi fait, le prix du cuivre est fictif et plus élevé que le prix réel, parce que le minerai étant supposé d'un traitement facile et d'un bas titre, les charges sont trop élevées au prix de 36 L. 13 sch. 1 p.. Ce prix de fabrication de la tonne de cuivre se trouvant exagéré, il a fallu le corriger par le standart.

En réalité, l'application du standart est déjà l'évaluation du prix du minerai, évaluation que l'adjudication vient réduire ou augmenter.

Le grand moyen de bénéfice des fondeurs de Swansea est l'essai par voie sèche. En général, on obtient sur ce marché un bon prix par tonne de minerai, au titre évalué par l'essai; mais on éprouve des déceptions fréquentes en ce qui concerne le titre.

CUIVRE NATIF.

Le cuivre natif se rencontre accidentellement en petits cristaux, en concrétions cristallines, soit en lames d'épaisseur variable, dans presque tous les gîtes de cuivre, d'une certaine richesse; surtout dans les parties rapprochées de la surface où les minerais sulfurés ont souvent éprouvé des décompositions.

Réduit à ce rôle, ce serait donc une substance rare et accidentelle, à mentionner d'autant plus brièvement, que le cuivre présente, à l'état natif, sa couleur rouge caractéristique, sa malléabilité, en un mot tous les caractères physiques du cuivre fabriqué. Nous ajouterions seulement, que le cuivre natif cristallise en octaèdres réguliers, quelquefois en cubes ou en dodécaèdres rhomboïdaux.

La découverte de gîtes très-riches et très-productifs, sur les bords du lac Supérieur, dans lesquels le minerai est exclusivement le cuivre natif contenu dans diverses gangues, a donné, depuis quinze ans, une grande importance à cette espèce minérale.

Les bords méridionaux du lac Supérieur présentent des zones successives formées par les affleurements de divers terrains

stratifiés et plus ou moins inclinés vers le nord. Les bancs imbriqués de ces terrains se dégagent ainsi les uns de dessous les autres; ils sont composés de schistes et de grès, entre lesquels surgissent des diorites éruptives, intercalées entre certaines couches redressées et fortement métamorphisées. A ces diorites cristallines, à grains fins, se lient des trapps amygdaloïdes et des conglomérats trappéens.

Ces trapps et conglomérats, bruns rougeâtres ou verdâtres, sont évidemment des roches métamorphiques, probablement argileuses et profondément transformées. Leurs cavités amygdaloïdes sont remplies de spath calcaire et de quartz cristallin ; ce remplissage étant souvent composé de zones concentriques, parmi lesquelles on distingue accidentellement, outre ces deux substances, de la chlorite verte, du feldspath rose, de la préhnite, du cuivre natif ou silicaté.

Dans certaines variétés, le cuivre natif remplit seul les cavités, et l'amygdaloïde devient un véritable minerai que l'on soumet au bocardage pour en retirer le métal. Les conglomérats trappéens bariolés de brun, de rouge et de vert, souvent chloriteux, renferment également sur beaucoup de points, du cuivre natif en veines ramuleuses insérées dans les fissures.

Les points de départ et les gîtes principaux de ces cuivres natifs, paraissent être des filons, qui traversent à peu près normalement tous les terrains stratifiés et imbriqués, et qui se bifurquent accidentellement dans les roches trappéennes, suivant les plans de stratification.

Le principal filon de ce district est celui de Clift, rempli de quartz, de chlorite et des débris des épontes trappéennes. Ce filon, d'environ 1 mètre de puissance moyenne, a présenté de nombreuses veines de cuivre natif, dont plusieurs de $0^{m},50$ et $0^{m},60$ d'épaisseur, ont fourni dix, vingt tonnes de cuivre et au delà ; de telle sorte que la principale difficulté était de découper le métal pour l'extraire par les galeries et les puits.

Le filon d'Ontonagon, presque aussi célèbre et aussi productif que celui du Clift, est un filon couché dans le sens de la stratification des amygdaloïdes. Il produit des masses considérables de

cuivre natif, accidentellement argentifère, à tel point même, que dans le cuivre fraîchement coupé on voit s'isoler des veines d'argent. Cet alliage explique le prix quelquefois très-élevé qu'atteignent les cuivres natifs du lac Supérieur, sur les places de Swansea et du Havre.

CUIVRE OXYDULÉ.

Couleurs. — Rouge brun foncé, vitreux et translucide ; la raclure est d'un rouge éclatant.

Densité. — 6.

Dureté. — Raye le spath calcaire ; rayé par la chaux phosphatée.

Formes cristallines. — L'octaèdre régulier ; le dodécaèdre rhomboïdal ; le cube.

La cassure est vitreuse et sans clivages.

Facilement réductible au chalumeau.

Le cuivre oxydulé en cristaux octaèdres, octaèdres émarginés et dodécaèdres, abonde dans les collections, bien qu'on le rencontre assez rarement aujourd'hui dans quelques exploitations de Sibérie et de Santiago de Cuba. Mais autrefois, ces cristaux ont été trouvés en prodigieuse abondance dans la mine de Chessy. Ils sont tous recouverts d'une patine verte de carbonate, et lorsqu'on brise un cristal, on reconnaît à l'intérieur la couleur rouge sombre et l'éclat vitreux du cuivre oxydulé.

L'analyse de ces cristaux donne 88,50 de cuivre et 11,50 d'oxygène.

A Rheinbreitbach, on a trouvé le cuivre oxydulé en filaments capillaires, structure qui existe aussi dans des échantillons de Santiago.

On trouve plus souvent, le cuivre oxydulé mélangé d'argile à l'état terreux ou compacte, d'une couleur rouge-brique, d'autant plus pâle que la proportion de cuivre oxydulé est moins considérable.

CUIVRE SULFURÉ.

Cu^2S.

Couleur. — Noir violacé ; éclat faible, à peine métallique.

Densité. — 5,70.

Dureté. — Tendre et ductile, se coupant facilement en copeaux noirs à surfaces luisantes.

Formes cristallines. — Prismes hexagonaux réguliers ; tables hexagonales, bordées par des troncatures sur les arêtes des bases.

Indices de clivages ; la cassure est plus souvent conchoïdale.

Fusible à la flamme de la bougie ; facilement réductible au chalumeau. Soluble dans l'acide azotique.

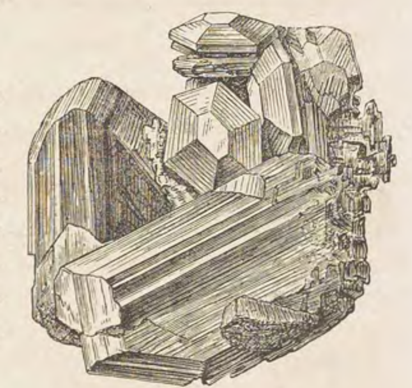


Fig. 197. — Cuivre sulfuré.

Les cristaux de cuivre sulfuré proviennent principalement du Cornwall. Leur surface est ordinairement terne. Quelques échantillons ont, au contraire, une teinte violacée avec un demi-éclat métallique.

Ces cristaux, souvent maclés, striés, incomplétement formés, ne sont pas toujours très-nets ; la figure 197 représente un échantillon du Cornwall. L'analyse a donné :

		RAPP. ATOM.
Cuivre	77,16	2
Soufre	20,62	1
Fer	2,15	

d'où se conclut la formule Cu^2S, le sulfure de fer n'étant là que comme mélange accidentel.

Dans les variétés amorphes et compactes, qui se trouvent quelquefois en quantités assez considérables, les mélanges de sulfure de fer atteignent de plus grandes proportions. L'effet de ces mélanges est d'augmenter la dureté, de diminuer la ductilité et la fusibilité du sulfure de cuivre, en lui donnant plus d'éclat.

Le cuivre sulfuré tend à se décomposer à l'air, et dans les tas de minerais, on voit les morceaux se recouvrir assez rapidement d'une patine verte.

CUIVRE PANACHÉ.

$2Cu^2S + FeS$.

Couleurs. — Violacée, bleuâtre irisé, gorge de pigeon; éclat semi-métallique.

Densité. — 5.

Dureté. — Raye le spath calcaire; rayé par le spath fluor.

Formes cristallines. — Rares, se rapportant au cube et à l'octaèdre.

Point de clivages; substance fragile, aigre, à cassure conchoïdale.

Au chalumeau, fusible après grillage, en un globule attirable à l'aimant, mais ne se réduit que par addition de soude.

Soluble dans l'acide azotique.

Le cuivre panaché, souvent désigné sous le nom de *philipsite*, se distingue facilement du sulfure par sa couleur violacée, quelquefois irisée, par son éclat semi-métallique, et par sa nature aigre et cassante.

C'est un sulfure double de fer et de cuivre contenant :

		RAPP. ATOM.
Cuivre	58,20	4
Fer	14,84	1
Soufre	26,96	3

d'où l'on a tiré la formule $2Cu^2S + FeS$.

Dans les variétés compactes, la proportion de sulfure de fer tend toujours à dépasser celle qui est indiquée par la formule.

Le cuivre panaché est le minerai dominant à Monte Catini ; il forme des nodules et des amas en chapelets, dans un filon stéatiteux, placé au contact des serpentines et des gabbros. Des gîtes similaires existent sur d'autres points de la Toscane; mais nulle part le minerai ne s'est encore montré avec une aussi grande abondance qu'à Monte Catini.

Les filons cuprifères du Cornwall ne présentent le cuivre panaché que comme substance accidentelle; mais dans plusieurs gîtes de Sibérie il se retrouve avec l'importance d'un véritable minerai.

CUIVRE PYRITEUX.

$CuS + FeS$.

Couleurs. — Jaune laiton; éclat métallique très-vif; poussière jaune verdâtre; exposé à l'air, devient jaune bronze-orange, et souvent irisé.

Densité. — 4,15.

Dureté. — Raye le spath calcaire; rayé par la chaux phosphatée.

Formes cristallines. — Tétraèdres symétriques, dérivant du prisme droit, à base carrée, simples, mâclés, oblitérés.

Point de clivages; cassure conchoïdale. Très-fragile.

Fusible au chalumeau après grillage, donne un bouton attirable à l'aimant. Difficilement réductible, même avec la soude. Soluble dans l'acide azotique.

Le cuivre pyriteux ou *pyrite cuivreuse* est si nettement défini par les caractères précédemment énumérés, qu'on ne pourrait le confondre qu'avec la pyrite de fer, qui est de même couleur, mais qui s'en distingue facilement parce qu'elle est dure et fait feu avec l'acier.

Le cuivre pyriteux est le minerai de cuivre le plus général et le plus abondant. Partout il a une tendance assez prononcée à cristalliser ; mais ses cristaux maclés, groupés en crêtes, et oblitérés, sont en général difficiles à déterminer. Les formes les plus répandues se rapportent aux deux types indiqués figure 198.

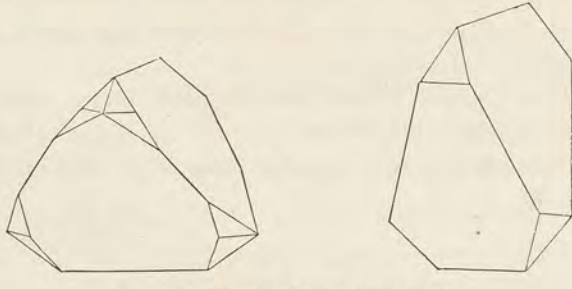


Fig. 198. — Tétraèdres symétriques modifiés.

Les cristaux plus nets ont été trouvés en Cornwall, dans les cristallisations de quartz qui tapissent les druses des filons. La figure 199 reproduit un exemple de ces cristallisations. Les



Fig. 199. — Cuivre pyriteux; tétraèdres tronqués avec quartz du Cornwall.

tétraèdres y sont modifiés par des troncatures sur les angles.

Dans les filons de Tenès (Algérie), on a trouvé une grande abondance de cristaux dont la figure 200 est un spécimen On

y reconnaît plus difficilement la forme, parce que les cristaux sont en général maclés et groupés. Dans la figure 201, les macles cristallines, crêtées, qui sont les formes les plus or-



Fig. 200. — Cuivre pyriteux de Tenès. *Fig.* 201. — Cuivre pyriteux en cristaux groupés.

dinaires, présentent des surfaces inégales, avec des stries tétraédriques bien caractérisées.

L'analyse des cristaux donne les proportions suivantes :

		RAPP. ATOM.
Cuivre................	30,00	1
Soufre................	35,16	2
Fer..................	32,20	1

d'où CuS + FeS.

Le cuivre pyriteux se trouve dans une multitude de filons et de gîtes irréguliers, associé à des gangues très-diverses. Le quartz et le spath calcaire sont les plus ordinaires; mais on le trouve aussi associé au fer spathique, à l'amphibole, à l'yénite, aux roches serpentineuses et trappéennes. Le cuivre pyriteux est disséminé dans toutes ces gangues, en particules plus ou moins fines, en veinules, en petits filons, en nodules et amas. Accidentellement, dans les géodes et les fissures des filons, on le trouve en concrétions mamelonnées et en groupes cristallins. Ces diverses associations de gangues, les formes cristallines et les différents modes de dissémination du minerai, donnent un aspect très-varié aux collections de cuivre pyriteux.

Ce minerai présente accidentellement des couleurs irisées. Fraîchement cassé, sa couleur et son éclat sont des plus vifs; mais

les cassures, exposées à l'air, deviennent assez promptement d'un jaune orange plus foncé, et s'irisent de nuances rougeâtres.

Les minerais de cuivre pyriteux sont en général très-mélangés de gangues ; ils sortent des mines du Cornwall, au titre de 1 à 2 pour 100, et sont concentrés par le triage et le lavage au titre de 7 à 8. Les minerais expédiés de Cuba ou de la côte du Chili, ont besoin d'être plus riches à cause de l'élévation du fret pour les transporter dans les usines du pays de Galles où ils sont traités ; leur titre moyen est de 15 à 16.

La pyrite cuivreuse contenant 30 pour 100 quand elle est isolée, on peut évaluer approximativement la proportion de pyrite contenue dans un tas de minerai, et par suite la proportion de cuivre. Cependant, outre qu'on se trompe souvent dans l'évaluation de la proportion de pyrite comparativement à celle des gangues, la pyrite elle-même, à l'état amorphe, est presque toujours mélangée de sulfure de fer, et ne contient en moyenne que 25 pour 100 de cuivre.

CUIVRE GRIS.

Fahlerz, $Cu^{16},Fe^{4}\binom{Sb}{As}^{6}S^{21}$.

Couleur. — Gris métallique, gris d'acier.

Densité. — De 4,6 à 5.

Dureté. — Raye la chaux phosphatée; rayé par le feldspath.

Formes cristallines. — Tétraèdre régulier, simple ou modifié.

Point de clivages. — Cassure grenue ; les cuivres gris sont aigres et assez fragiles.

Fusible au chalumeau, avec vapeurs d'antimoine et quelquefois d'arsenic ; difficilement réductible.

Le cuivre gris est un minerai fréquent, mais rarement assez abondant pour constituer des gîtes exploitables. Cependant le fait existe, par exemple à Mouzaïa, où tout un groupe de filons ne contient, comme minerai, que du cuivre gris.

Les cristaux sont fréquents, ils peuvent être cités comme le meilleur exemple du tétraèdre régulier et de ses modifications, tantôt sur les angles, tantôt sur les arêtes, quelquefois simultanées. La figure 202 résume les plus essentielles de ces modifications sur les angles *a* et sur les arêtes *b*.

Ces tétraèdres sont en général groupés et maclés. La figure 203 est un exemple de cristaux maclés, portant des stries d'accroissement et modifiés sur les angles ; ces cristaux viennent de Kapnick en Hongrie.

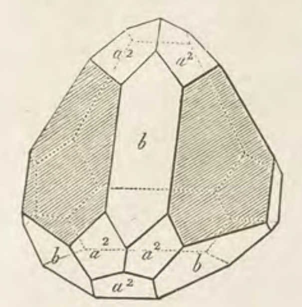


Fig. 202.

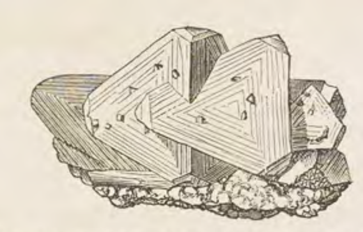


Fig. 203. — Cuivre gris de Kapnick, en Hongrie.

La figure 204 représente un groupe de cristaux du Cornwall, portant à la fois des troncatures triples sur les angles et des biseaux sur les arêtes.



Fig. 204. — Cuivre gris du Cornwall.

La composition du cuivre gris varie surtout par les proportions d'antimoine ou d'arsenic. C'est un sulfure quadruple de cuivre, d'antimoine, d'arsenic et de fer dans lequel on trouve les variations suivantes :

Soufre	22 à 27	pour 100.
Cuivre	25 à 40	—
Antimoine	12 à 28	—
Arsenic	0 à 19	—
Fer	2 à 7	—

proportions que M. Rose a tenté d'exprimer par la formule

$$\left(Cu^{16}, Fe^{4}, \begin{matrix} Sb^{6} \\ As^{6} \end{matrix}\right) S^{21}.$$

Lorsque la proportion d'arsenic atteint ou dépasse 12 parties, la couleur du cuivre gris est sombre, presque noirâtre, et se ternit à l'air : on appelle cette variété **Tennanitte**; elle cristallise en dodécaèdres, et paraît former une espèce spéciale.

AZURITE.

$$2CuC^{2} + CuAq.$$

Couleur. — Bleu foncé, lithoïde.

Densité. — 3,80.

Dureté. — Celle du spath fluor.

Formes cristallines. — Prisme rhomboïdal oblique M/M = 99°, P/M = 92°. Cristaux primitifs ou diversement modifiés.

Clivages difficiles, parallèles aux pans du prisme. Fragile, à cassure inégale.

Réductible au chalumeau; avec le borax, donne un verre transparent et d'un beau vert. Soluble avec effervescence dans l'acide azotique.

L'azurite est surtout caractérisée par sa belle couleur bleue; toutes les collections possèdent des échantillons diversement cristallisés, qui proviennent des mines de Chessy.

Les cristaux primitifs présentent souvent des surfaces courbes parce qu'ils sont formés par la juxtaposition d'une multitude de petits prismes. Les cristaux dérivés sont, au contraire, nets; leurs surfaces sont brillantes et semi-vitreuses, quelquefois même translucides.

La figure 205 représente un de ces groupes de cristaux entre-croisés dans tous les sens. La forme primitive y est indiquée par les faces P, M, M; les modifications consistent en troncatures placées à la fois sur les arêtes B et D, et sur les angles E.

L'analyse de ces cristaux indique une proportion de 69 à 70 d'oxyde de cuivre, et 5 à 6 pour 100 d'eau.

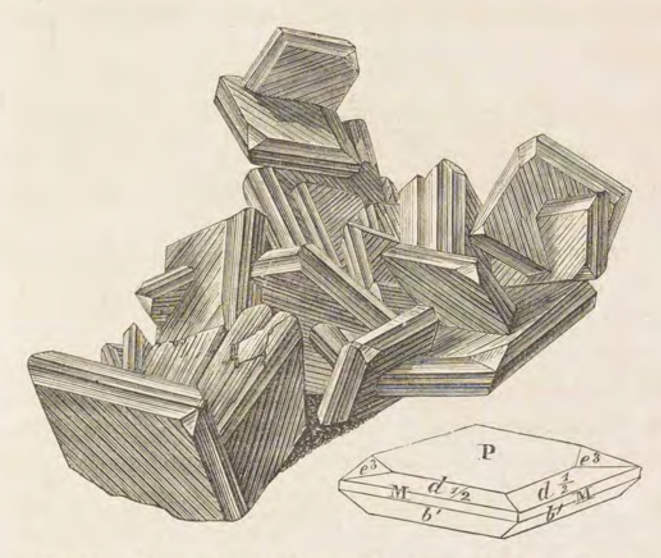


Fig. 205. — Cuivre carbonaté bleu, azurite, prismes rhomboïdaux obliques.

L'azurite existe non-seulement en cristaux et groupes cristallins, mais en nodules radiés ou compactes, en concrétions stalactiformes. Depuis l'épuisement des mines de Chessy, on en a trouvé dans plusieurs gîtes cuprifères de la Sibérie et de l'Australie, mais seulement comme substance accidentelle.

MALACHITE.

$2CuC + Aq.$

Couleur. — Vert, souvent nuancé de plusieurs teintes.

Densité. — 4.

Dureté. — Rayée par le spath calcaire.

Formes cristallines très-rares, se rapportant à des prismes rhomboïdaux obliques de 107°.

Point de clivages dans les fragments concrétionnés ou radiés. Les cristaux paraissent cependant lamelleux.

Réductible au chalumeau. Soluble avec effervescence dans l'acide azotique.

La malachite à l'état concrétionné ou fibreux est caractérisée par sa belle couleur verte, souvent zonée et nuancée. Elle est susceptible d'un très-beau poli et recherchée pour la fabrication d'objets d'art.

Les variétés les plus cristallines ont donné à l'analyse 55 pour 100 de cuivre, soit 70 d'oxyde ; la quantité d'eau, supérieure à celle de l'azurite, s'élève à 8 pour 100.

La malachite se trouve à l'état terreux dans un grand nombre de gîtes cuprifères, surtout dans les parties supérieures où elle paraît quelquefois résulter de la décomposition des minerais sulfurés. Cependant les belles concrétions fibreuses de la Sibérie et du Sénégal, indiquent que ces minerais doivent être attribués à des influences spéciales, qui ont déterminé la formation de carbonates, silicates, phosphates, etc., dans les parties des filons les plus rapprochées des affleurements.

Il existe tant de composés à base de cuivre dont la couleur est verte, qu'il faut avoir quelquefois recours à des essais, pour les distinguer. La propriété de la malachite, de se dissoudre avec effervescence dans l'acide azotique, la fait aisément reconnaître.

CUIVRE CHLORURÉ.

$CuCl + 3\mathit{Cu} + 4\mathit{Aq}.$

Couleur. — Vert foncé.

Densité. — 4,40.

Dureté. — Celle du spath calcaire.

Formes cristallines. — Aiguilles radiées, attribuées à un prisme droit rhomboïdal de 97°.

Point de clivages. Cassure souvent fibreuse. Fragile et s'écrasant facilement sous le choc.

La poussière jetée sur le feu colore la flamme en vert. Fusible et réductible au chalumeau, en dégageant les flammes vertes caractéristiques.

Soluble sans effervescence dans l'acide azotique.

Le chlorure de cuivre figure pour des quantités assez considérables, parmi les minerais verts expédiés de la côte du Chili. Ses couleurs spéciales, tantôt d'un vert foncé olivâtre, tantôt d'un vert bleuâtre ; sa tendance à prendre une structure aciculaire et radiée, sont des caractères qui le distinguent de la malachite. Un essai au chalumeau ou par l'acide fixerait au besoin.

Le chlorure se distingue surtout par la vive coloration verte qu'il donne à la flamme, lorsqu'après l'avoir réduit en poudre, on le projette dans le feu.

On a recueilli dans les mines du Chili du chlorure de cuivre pulvérulent, d'une belle couleur d'un vert émeraude. Cette couleur spéciale se retrouve également dans le chlorure de cuivre qui, à certaines époques, s'est condensé dans le cratère du Vésuve.

CUIVRE PHOSPHATÉ.

$CuPh + Aq.$

Couleur. — Vert foncé, quelquefois olivâtre.

Densité. — 4,20.

Dureté. — Celle de la chaux phosphatée.

Formes cristallines. — Se rapportent à un prisme rhomboïdal oblique de 141° ; cristaux très-rares.

En concrétions mamelonnées ou stalactiformes.

Fusible et réductible au chalumeau.

Soluble sans effervescence dans l'acide azotique.

Le cuivre phosphaté ne s'est trouvé en quantité considérable que dans le filon du Virneberg, à Rheinbreitbach, sur la rive droite du Rhin ; il a servi de minerai, pendant toute la période de l'exploitation des régions supérieures de ce filon. Au-dessous de 2 à 300 mètres, le phosphate paraît complétement supprimé et remplacé par des sulfures.

Cette espèce contient 14 pour 100 d'eau.

On trouve à Libethen, en Hongrie, un cuivre phosphaté qui ne contient que 6 pour 100 d'eau, dont on a fait une espèce spéciale sous le nom de *libethénite*.

CUIVRE ARSÉNIATÉ.

Parmi les substances vertes et cristallisées que présentent les gîtes de cuivre, se trouvent des *arséniates*, dont on a distingué cinq espèces différentes par leur cristallisation et par les proportions très-variables d'oxyde de cuivre, d'acide arsénique et d'eau. Ces diverses espèces, toutes assez rares, se distinguent surtout par leurs couleurs.

L'**olivénite** d'un *vert olive*, se trouve en prismes rhomboïdaux, soit en concrétions radiées, principalement comme substance accidentelle dans les filons du Cornwall.

La **liroconite** d'un *vert bleu*, ou même bleu verdâtre, cristallise en octaèdres obtus.

L'**euchroïte**, en concrétions d'un beau vert, et sans cristaux, ne peut guère se distinguer de la malachite que par un essai au chalumeau qui met l'acide arsénique en évidence.

CUIVRE HYDROSILICATÉ.

$$CuSi^2 + Aq.$$

Dans presque tous les gîtes cuprifères importants, on a trouvé vers les parties supérieures, des concrétions et stalactites, vertes, vert jaunâtre, vert bleuâtre, provenant de la décomposition des minerais et qui ne sont pas des malachites. Ce sont

des hydrosilicates souvent mélangés d'oxydes de fer ou de manganèse.

Dans le Campiglièse en Toscane, lorsqu'on retrouva, il y a une vingtaine d'années, les exploitations de cuivre de la période romaine, exploitations abandonnées depuis plus de quinze siècles; les excavations parfaitement soutenues et conservées, avaient leurs parois couvertes d'hydrosilicate verts et bleuâtres, dont l'épaisseur sur certains points, dépassait $0^m,10$. Ces concrétions stalactiformes, avaient empâté et recouvert même les tas de minerais abandonnés par les anciens.

Les hydrosilicates de cuivre que l'on trouve ainsi dans un grand nombre de gîtes, accumulés dans les fissures et même dans les roches encaissantes, se distinguent parce qu'ils ne sont pas fusibles au chalumeau, et que dans l'acide azotique, ils se dissolvent sans faire effervescence, en laissant un résidu siliceux.

Quand ils s'isolent en stalactites, concrétions mamelonnées ou masses amorphes, les hydrosilicates se distinguent encore par leur faible densité, qui n'atteint pas même celle des gangues quartzeuses qui ont contribué à leur formation, concurremment avec les minerais.

Les hydrosilicates ne présentent en général aucune structure cristalline, point de parties fibreuses et aciculaires; ils contiennent souvent de la silice en excès, et sont mélangés soit intimement, soit par zones, à des quantités variables d'oxydes de fer et de manganèse. On ne pourrait donc que supposer l'existence d'une espèce en proportions définies, si cette espèce n'avait été trouvée en Sibérie, dans le pays des Kirguis, en beaux cristaux que l'on appelle **dioptase.**

Les cristaux de *dioptase*, nets et petits, sont des prismes hexagonaux, terminés par des sommets trièdres symétriques, et par conséquent dérivés du rhomboèdre.

Ils sont d'un vert bleuâtre, translucides et beaucoup moins durs que l'émeraude avec laquelle on pourrait peut-être les confondre. Ils rayent à peine le verre et n'ont point de clivage.

Enfin ils se dissolvent dans l'acide azotique et se réduisent en une gelée siliceuse. Au chalumeau ils donnent de l'eau et noir-

cissent sans se fondre. Ces cristaux contiennent 50 parties d'oxyde cuivrique, 36 de silice et 12 d'eau.

MINERAIS D'ARSENIC.

Les espèces minérales à base d'arsenic, ne sont guère que des substances accidentelles, dans certains filons exploités pour argent, plomb, antimoine, etc.

Le minerai le plus commun d'arsenic, est en réalité le mispickel ou sulfo-arséeniure de fer, qui fournit la plus grande partie de l'arsenic livré au commerce et figure parmi les espèces à base de fer.

Les espèces à base d'arsenic se bornent à trois : l'*arsenic natif* et les deux sulfures connus sous les dénominations de *réalgar* et d'*orpiment*.

Les usages de l'arsenic seraient d'ailleurs très-bornés, si l'agriculture ne consommait des quantités notables d'acide arsénieux qui se vend 500 francs la tonne. On emploie des quantités qui vont heureusement en diminuant, pour la fabrication de quelques couleurs vertes.

ARSENIC NATIF.

Métal d'un gris blanc, assez éclatant dans les cassures fraîches, mais se ternissant à l'air et devenant d'un noir terne.

Densité. — 5,80.

Dureté. — Raye le spath calcaire ; rayé par l'apatite.

Point de *formes cristallines.* Aigre et cassant ; cassure plutôt grenue que lamelleuse. Lorsqu'on le brise, l'arsenic exhale une odeur alliacée caractéristique.

Fusible et volatil au chalumeau, avec fumées d'oxyde blanc et odeur alliacée.

La forme la plus ordinaire de l'arsenic natif est celle de concrétions *testacées*, c'est-à-dire à zones courbes et peu saillantes.

La cassure tend à détacher des lames courbes et concentriques à surfaces lisses, tandis que, dans le sens transversal, cette cassure est grenue et arrachée.

On trouve aussi l'arsenic en nodules et veines finement grenues et presque compactes.

Certains filons produisent de l'arsenic natif en assez grande abondance, principalement les filons argentifères et plombifères d'Andreasberg au Hartz, et les filons antimonifères de la Hongrie. Il s'y trouve en concrétions testacées, qui forment des zones rubannées, parallèles au toit et au mur.

RÉALGAR.

AsS

Couleur. — Rouge orangé, dit rouge aurore. La poussière est jaune orangé.

Densité. — 3,50.

Dureté. — Inférieure à celle du gypse.

Formes cristallines. — Prismes rhomboïdaux obliques, modifiés, dérivant d'un prisme rhomboïdal oblique de $M/M = 74°$ et $P/M = 104°$.

Point de clivages; très-fragile et présentant une cassure semi-vitreuse.

Au chalumeau, fusible et volatil avec odeur alliacée.

Le réalgar contient 69 pour 100 d'arsenic. C'est une substance accidentelle. On en reçoit des mines de Hongrie et de Transylvanie, quelquefois en beaux cristaux d'un rouge foncé, qui se décomposent à l'air, deviennent pulvérulents et d'un jaune orangé.

A certaines époques, les vapeurs volcaniques du Vésuve ont déposé sur les parois des fissures une grande quantité de petits cristaux de réalgar.

La dolomie du Saint-Gothard contient accidentellement du

réalgar d'un rouge éclatant, qui ne se décompose pas à l'air comme celui de Transylvanie.

ORPIMENT.

AsS³.

Couleur. — Jaune citron, très-vif.

Densité. — 3,50.

Dureté. — Entre celle du gypse et celle du talc.

Point de *formes cristallines*, mais une texture souvent fibreuse et même clivable en lames flexibles, fait reconnaître une structure cristalline. Quelques apparences de cristaux provenant de Tajowa, en Hongrie, prouvent en effet que l'orpiment cristallise en prismes droits rhomboïdaux.

Au chalumeau, se volatilise avec l'odeur alliacée de l'arsenic.

L'orpiment est, comme le réalgar, une substance tout à fait accidentelle, en veines et nodules cristallins. Les plus beaux échantillons viennent des filons de Hongrie et de Transylvanie, notamment de Tajowa, près Neushol.

L'orpiment ne contient que 61 pour 100 d'arsenic. Cette différence de composition suffit pour lui imposer une coloration caractéristique et des caractères physiques tout différents de ceux du réalgar.

MINERAIS DE COBALT ET DE NICKEL.

Les minerais de cobalt et de nickel sont souvent réunis dans les mêmes gîtes. Ceux de Schneeberg dans l'Erzgebirge et de Riechelsdorf en Saxe, d'Allemont en Dauphiné, sont dans toutes les collections. Les arséniures et les sulfo-arséniures, métalliques, éclatants, ont des caractères spéciaux et faciles à reconnaître; leur décomposition fréquente en cobalt arséniaté rose et

en nickel arséniaté vert-pomme, ajoute encore à ces caractères distinctifs.

Les minerais de cobalt, moins abondants que ceux de nickel, sont en même temps les plus recherchés; leur emploi dans la fabrication des couleurs, surtout pour les arts céramiques, leur a fait atteindre des prix très-élevés. Pendant longtemps, les gites de Tunaberg en Suède et de Schneeberg en Saxe, ont seuls fourni les minerais de cobalt, mais, depuis trente ans, ceux des régions métallifères de Siegen et de Riechelsdorf ont pris rang dans la production. On y a poussé les procédés de la préparation mécanique à la plus grande perfection, pour extraire des gangues les plus pauvres, des particules métallifères à peine visibles. On prépare ainsi des schlicks impalpables, qui sont immédiatement fondus en speiss de cobalt.

L'élévation du prix donne ici une grande importance à l'étude des caractères minéralogiques des minerais, car plus d'une fois on a présenté comme minerais de cobalt, des sulfo-arséniures de fer qui n'en contenaient que de très-petites quantités.

COBALT ARSENICAL.

$CoAs^2$.

Couleurs. — Gris blanc, éclat métallique vif et un peu gras.

Densité.— 6,40.

Dureté. — Rayé par le feldspath; raye la chaux phosphatée.

Formes cristallines. — Cube, cubo-octaèdre, cubo-dodécaèdre.

Point de clivages; cassure inégale et grenue. Fusible au chalumeau, en dégageant des vapeurs arsenicales; avec le borax, donne un verre bleu foncé.

Soluble dans l'acide azotique qu'il colore en rose.

Le cobalt arsenical est un minéral accidentel, dont les cris-

taux ont en général les arêtes arrondies ; leur analyse a donné

Arsenic...............	66,75
Cobalt................	27,00
Oxyde de fer..........	6,25

l'oxyde de fer est en quantité variable et paraît n'intervenir que comme mélange. De sorte que la formule $CoAs^2$ représente la composition réelle.

Le cobalt arsenical se trouve aussi en concrétions cristallines, quelquefois même compactes.

COBALT GRIS.

$CoAs^2 + CoS^2$.

Couleur. — Gris blanc, éclat métallique vif, comparable à celui de l'acier poli.

Densité. — 6,30.

Dureté. — Celle du quartz ; fait feu avec le briquet.

Formes cristallines. — Le cube, l'octaèdre, le dodécaèdre pentagonal, l'icosaèdre.

Indices de clivages parallèles aux faces du cube.

Fusible au chalumeau avec dégagement de vapeurs arsenicales ; colore le verre de borax en bleu. Attaqué par l'acide azotique.

Le cobalt gris se distingue du cobalt arsenical par son éclat vif, par la netteté des arêtes de ses cristaux et par ses formes dominantes qui sont principalement le dodécaèdre pentagonal et l'icosaèdre.

La série des cristaux du cobalt gris fournit toutes les transformations du cube, à l'exception des trapézoèdres et des hexatétraèdres.

Dans les cristaux mixtes, on remarque ordinairement sur toutes les faces du cube, des stries qui correspondent aux arêtes du dodécaèdre pentagonal.

La mine de Tunaberg, en Suède, produit des minerais très-cristallins qui fournissent aux principales consommations. Ces cristaux contiennent :

Arsenic	43,47
Cobalt	33,10
Soufre	20,00
Fer	3,25

Lorsque le cobalt gris est compacte et sans formes cristallines, il est souvent mélangé de fer arsenical ; il est alors moins blanc et moins éclatant, et peut être facilement confondu avec le fer arsenical lui-même. Dans ce cas, on doit procéder à des essais pour doser la proportion de cobalt qui détermine la valeur du minerai.

COBALT ARSÉNIATÉ.

$Co^3As^5 + 8Aq.$

Couleurs. — Rose fleur de pêcher.

Densité. — 2,90.

Densité. — A peine supérieure à celle du gypse.

Forme cristalline, à peine indiquée ; aiguilles prismatiques radiées.

Substance presque toujours terreuse ou pulvérulente. Au chalumeau, avec le borax, donne le verre bleu caractéristique.

Le cobalt arséniaté paraît le résultat de la décomposition du cobalt arsenical et du cobalt gris. Sa couleur rose, caractéristique, devient même le meilleur indice pour signaler dans certaines gangues ou minerais, la présence du cobalt, fût-il en très-petite proportion.

On trouve accidentellement le cobalt arséniaté en cristaux aciculaires, qui, sans être déterminables, suffisent pour confirmer la distinction de l'espèce si nettement caractérisée par sa couleur.

NICKEL ARSENICAL.

NiAs.

Couleur. — Jaune bronze, un peu rougeâtre, éclat métallique.

Densité. — 7,65.

Dureté. — Au-dessous de celle du feldspath, mais suffisante pour donner des étincelles sous le choc de l'acier.

Point de formes cristallines.

Substance fragile avec cassure inégale et métallique.

Au chalumeau, donne au feu de grillage, des fumées arsenicales; fusible en un globule métallique un peu magnétique.

Soluble par digestion dans l'acide azotique qu'il colore en vert.

Le nickel arsenical, à cause de sa couleur bronze, et tout à fait comparable à la couleur de l'alliage dit métal de cloches, est désigné sous la dénomination de *nickel cuivreux*, bien qu'il ne contienne aucune trace de cuivre. C'est le principal minerai de nickel.

Lorsqu'il est pur, il contient 55 d'arsenic, 42 de nickel et quelques centièmes d'antimoine, de soufre et de fer. A Allemont, il ne contenait que 40 de nickel, et la proportion d'antimoine s'élevait à 8.

Plusieurs variétés de nickel arsenical se chargent de proportions croissantes d'antimoine ou de sulfure de fer, et sont, par conséquent, encore moins riches en nickel. Dans ce cas, la couleur pâlit et devient d'un blanc jaunâtre, mais toujours métallique.

Ces minerais, très-recherchés depuis quelques années, ont permis de fabriquer des quantités notables de nickel, dont les alliages avec le cuivre (maillechort), sont de plus en plus employés. Ces alliages ont été même introduits, notamment en Belgique, dans la fabrication des monnaies de billon.

NICKEL SULFURÉ.

NiS.

Couleur. — Jaune bronze, éclat métallique.

Densité. — 5,25.

Dureté. — Raye le spath fluor.

Formes cristallines. — Filaments aciculaires, sans clivages; très-fragiles.

Réductible au chalumeau en un bouton magnétique. Soluble dans l'acide azotique qu'il colore en vert.

Le nickel sulfuré se trouve en filaments et houppes capillaires. C'est une substance assez rare, que l'on désignait autrefois sous la dénomination de nickel natif, mais qui, en réalité, contient seulement 64 de nickel, 35 de soufre, et 1 de fer.

Aux environs de Dillenburg, il existe un trapp qui, sur quelques points, est parsemé d'aiguilles métalliques de nickel sulfuré, assez abondantes pour qu'on ait pu l'exploiter et en extraire le nickel.

NICKEL ARSÉNIATÉ.

$NiAs^5 + 8Aq.$

Couleur. — Vert pomme, caractéristique. Toujours à l'état pulvérulent.

Cette substance forme très-souvent un enduit pulvérulent sur les minerais de nickel et devient un signe de leur nature. Elle donne au chalumeau et dans les acides, tous les caractères de ces minerais.

Le nickel arséniaté est donc une espèce de nulle importance comme quantité, mais très-utile, au point de vue de la distinction des minerais nickélifères, de tous ceux avec lesquels ils pourraient être confondus.

MINERAIS D'URANE.

Les minerais d'urane jouent dans certains gîtes, le rôle de substances accidentelles ; ils sont à la fois sans application et sans importance minéralogique.

Le plus abondant de ces minerais est l'**urane oxydulé.**

C'est un minéral noir, ayant un éclat plutôt résineux que métallique, ordinairement en plaques concrétionnées et testacées, pesant 6,30; fragile, ayant à peu près la dureté de la chaux phosphatée.

Cette substance peut être facilement confondue avec la blende noire et compacte; elle s'en distingue par sa densité, par une absence complète de clivages, parce qu'au chalumeau, elle est infusible, ne donne aucun indice de soufre et produit par sa fusion avec le borax, un verre jaune tant qu'il reste fondu.

On l'a principalement rencontré dans quelques-uns des filons de Joachimsthal en Bohême.

L'**urane phosphaté**, plus connu sous la dénomination d'*uranite*, est une substance rare, remarquable par sa couleur et sa cristallisation. On la trouve principalement dans un filon de Marmagne, près Autun.

C'est une substance jaune clair, ou jaune verdâtre ; cristallisée en tables rectangulaires, qui paraissent dériver d'un prisme droit à base carrée, avec un clivage très-facile parallèle à la base.

L'uranite de Marmagne est tendre, et ne pèse que 3. Elle est fusible au chalumeau ; soluble dans l'acide azotique.

Cette substance contient ordinairement 4 à 5 pour 100 de chaux ; elle est considérée comme un phosphate double d'urane et de chaux : $Ca^2Ph^5 + U^4Ph^3 + 16Aq$.

Dans les filons du Cornwall on trouve des cristaux assez nets d'uranite avec tous les mêmes caractères, sauf la couleur qui est d'un beau vert émeraude. C'est, en effet, un phosphate double d'urane et de cuivre.

MINERAIS DE BISMUTH.

Les minerais de bismuth sont assez rares, et si ce métal avait des applications qui en exigent des quantités notables, son prix serait très-élevé.

Le **bismuth natif** est le minerai le plus ordinaire. Il se trouve comme substance annexe et accidentelle, dans des gîtes caractérisés par d'autres métaux, principalement dans ceux où l'on exploite les minerais de cobalt et de nickel.

Le bismuth natif est un métal aigre et cassant, blanc d'étain et lamelleux. Sa densité, lorsqu'il est pur, est 9.

Il est fusible à la flamme de la bougie. Cette grande fusibilité l'a fait rechercher pour la fabrication de certains alliages fusibles.

Presque toujours, le bismuth natif est mélangé d'arsenic, et plus la proportion de l'arsenic est considérable, plus il devient gris et grenu en perdant ses clivages.

C'est pour cela que le bismuth du commerce est toujours arsenical, et lorsqu'on veut le faire cristalliser, dans les laboratoires, il faut d'abord le purifier autant que possible par des grillages prolongés. Le bismuth pur, fournit les belles *trémies* cubiques souvent citées comme exemple de la cristallisation des métaux.

Le bismuth se rencontre plus rarement à l'état de sulfure, mélangé d'autres sulfures métalliques.

L'espèce la mieux définie est le **nadelerz** ou *bismuth sulfuré plombo-cuprifère.*

Le *nadelerz* est un minerai gris jaunâtre, métallique avec éclat bronzé; aciculaire et souvent radié; pesant 6.

C'est un sulfure triple de bismuth, de plomb et de cuivre, dont la composition est $3BiS + 2PbS + CuS$, ce qui lui suppose un titre de 40 pour 100 de bismuth.

Presque toujours, les minerais qui contiennent du bismuth sont recouverts d'un oxyde pulvérulent terreux, jaune verdâtre, qui est le bismuth oxydé.

MOLYBDÈNE SULFURÉ.

MoS^3.

Couleurs. — Gris de plomb, éclat métallique faible.

Densité. — 4,60.

Dureté. — Celle du gypse. Frotté sur le papier, laisse une trace d'un gris métallique. Sur la porcelaine, cette trace est gris verdâtre, ce qui permet de la distinguer de celle du graphite qui reste gris de plomb.

Formes cristallines. — Le molybdène sulfuré est presque toujours à l'état lamelleux. Les lames, généralement convexes ou concaves, prennent quelquefois un peu de régularité et paraissent appartenir à des tables hexagonales régulières, avec un *clivage facile*, parallèle à la base.

Au chalumeau, dégage des vapeurs d'acide sulfureux et laisse un résidu pulvérulent à la surface. Attaquable par l'acide azotique.

Le molybdène sulfuré est le seul minerai de molybdène; il est quelquefois accompagné d'*acide molybdique*, sous forme d'une poussière jaunâtre, qui provient évidemment de la décomposition du sulfure.

Le molybdène sulfuré est d'ailleurs une substance accidentelle, assez rare, qui n'est d'aucun usage.

Les échantillons principaux viennent du Talèfre, dans le massif du mont Blanc; il y est disséminé en paillettes cristallines dans une roche granitique et semble y remplacer le mica; plus ordinairement il est rassemblé en veines et nodules cristallins, dans de petits filons quartzeux.

Il vient également du molybdène sulfuré de Suède, où il tapisse les fissures de roches porphyriques et même paraît former, dans la roche, de petites veines composées de lames cristallines, superposées et souvent entre-croisées.

MINERAIS DE MANGANÈSE.

Ces minerais consistent en une série d'oxydes, la plupart hydratés, parmi lesquels on ne recherchait autrefois que les variétés les plus oxygénées, pour diverses fabrications de produits chimiques. Aujourd'hui, la fabrication de l'acier a jeté un nouvel intérêt sur tous les oxydes de manganèse, en leur ouvrant un large débouché dans les procédés métallurgiques.

Depuis longtemps en Westphalie, on avait introduit les oxydes de manganèse dans la fabrication des fontes à acier, lorsque les minerais employés n'en contenaient pas suffisamment; cette addition s'élevait jusqu'à 10 pour 100. L'usage de ces mélanges s'est généralisé, et les consommations se sont élevées à des chiffres considérables.

Les gîtes de manganèse sont heureusement très-multipliés; ceux qui existent en France, notamment dans les Pyrénées et à Romanèche près Mâcon, peuvent satisfaire à toutes les exigences de la métallurgie. On y obtient des oxydes de manganèse assez purs, à des prix de 40 à 50 francs la tonne.

On désigne sous les dénominations de **hausmanite** et de **braunite**, les oxydes anhydres.

La *hausmanite* correspond à l'oxyde rouge de manganèse. C'est une substance rare, cristallisant en octaèdres à base carrée, d'un noir terne; sa poussière est rouge brun.

La *braunite* est l'oxyde manganique, également rare, en cristaux noirs, octaédriques ou cubiques, avec clivages parallèles aux faces de l'octaèdre.

Ces deux oxydes tout à fait accidentels, n'intéressent que les collections; les oxydes plus ou moins hydratés sont les seuls qui soient assez abondants pour être utiles.

PYROLUSITE

Couleur. — Gris noirâtre, semi-métallique, poussière noire.

Densité. — 4,80.

Dureté. — A peine supérieure à celle du gypse.

Formes cristallines.—Cristaux dérivés d'un prisme droit rhomboïdal de 93°, assez mal formés, et généralement bacillaires ou radiés.

livages peu distincts, parallèles aux faces du prisme primitif.

Au chalumeau la pyrolusite est infusible, elle devient rougeâtre, perd 11 pour 100 d'oxygène; avec le borax, elle donne un verre d'un violet intense.

La pyrolusite est le peroxyde de manganèse à la fois le plus répandu et le plus recherché pour la fabrication du chlore.

Sa composition est :

Manganèse	61,80
Oxygène	35,40
Eau	1,50

Cet oxyde souvent associé aux minerais de fer, s'isole en gîtse spéciaux. On le trouve en masses concrétionnées, stalactiformes, fibreuses et radiées; quelquefois en masses terreuses dont on apprécie la valeur en cherchant la quantité d'oxygène dégagée par la calcination.

PSILOMÉLANE.

La pyrolusite contient souvent quelques centièmes de baryte, et l'on exploite sur plusieurs points, notamment à Romanèche près Mâcon, des peroxydes de manganèse, concrétionnés et stalactiformes, noirs, à texture compacte et testacée, qui contiennent toujours de 12 à 16 pour 100 de baryte.

La baryte semble donc un élément spécial de cette variété à laquelle on a donné le nom de *psilomélane.*

Il est à remarquer que dans cette variété, la nature cristalline et radiée de la pyrolusite, disparaît tout à fait. Ce qui semble venir à l'appui de la distinction en espèce spéciale, c'est l'importance des gîtes de Romanèche, et surtout, c'est que parmi les

pyrolusites, très-répandues en Allemagne, on a retrouvé la variété barytifère stalactiforme, et non radiée.

ACERDÈSE.

Couleurs. — Noir semi-métallique, poussière brune.

Densité. — 4,30.

Dureté. — Égale à celle du spath calcaire, et par conséquent supérieure à celle de la pyrolusite.

Formes cristallines. — Prismes droits, rhomboïdaux, de 99°. Prismes bacillaires, basés ou à sommets biselés.

Clivage diagonal assez facile.

Au chalumeau, donne de l'eau par la calcination et point d'oxygène.

L'acerdèse se distingue facilement de la pyrolusite, lorsqu'elle est en belles cristallisations bacillaires, comme celle d'Ilefeld

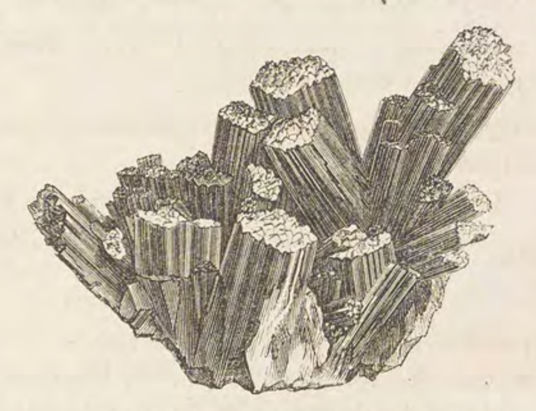


Fig. 206. — Acerdèse en prismes rhomboïdaux.

au Hartz, qui se trouve dans toutes les collections, et dont la figure 206 est un exemple.

On la distingue encore à sa raclure brune, et à la faible quan-

tité d'oxygène dégagé par la calcination. Enfin on peut mettre en évidence la proportion considérable d'eau qu'elle contient. La composition de l'acerdèse est en effet :

Manganèse	61,70
Oxygène	27,20
Eau..................	10,10

La distinction est difficile lorsque l'acerdèse est à l'état terreux, car elle est presque toujours mélangée d'une certaine proportion de pyrolusite, qui fait varier les quantités d'eau et d'oxygène que fournissent les mélanges des deux espèces.

MANGANÈSE CARBONATÉ.

MnC^2.

Couleur. — Rose ; rose rougeâtre.

Densité. — 3,60.

Dureté. — Raye le spath calcaire; rayé par l'apatite.

Formes cristallines. — Rhomboèdre de 107°. Rhomboèdre équiaxe, dodécaèdres métastatiques.

Trois clivages parallèles aux faces du rhomboèdre de 107° ; cassure lamelleuse.

Infusible au chalumeau, mais noircit en passant à l'état d'oxyde. Soluble, avec une faible effervescence, dans l'acide azotique.

Le manganèse carbonaté pur est assez rare.

Il existe dans quelques filons de Hongrie, une variété saccharoïde, connue sous le nom de *Diallogite*, qui a été quelquefois utilisée dans l'ornement, à cause de sa couleur rose, assez rare parmi les minéraux.

Les cristaux se rapportent généralement à la forme primitive, quelquefois au rhomboèdre équiaxe. Ce qui donne surtout

de l'intérêt à cette espèce, ce sont les carbonates mixtes de chaux, de fer et de manganèse.

Le manganèse carbonaté se mélange surtout au spath calcaire qu'il colore en rose.

Dans les gîtes qui contiennent le carbonate, on trouve aussi le **manganèse silicaté**, caractérisé par la même couleur rose, mais très-dur, rayant le verre et faisant feu avec l'acier.

Le *manganèse silicaté*, lorsqu'il est pur, est lamelleux ; ses clivages conduisent à un prisme rhomboïdal oblique ; sa composition est $MnSi^2$.

Ces caractères l'ont fait rapprocher du pyroxène. On a trouvé, en effet, au Mexique d'abord, puis dans le Campiglièse en Toscane, des masses fibreuses grisâtres, ayant quelquefois un reflet rosé, se décomposant en brun noirâtre, pesant 3,15, et qui, à l'analyse, ont donné la composition exacte d'un pyroxène angite, dans lequel le fer a été remplacé par le manganèse. Cette espèce particulière est désignée sous le nom de *Bustamite.*

Le carbonate et le silicate de manganèse, contiennent souvent de petites veines réticulées qui n'ont pas $0^m,001$ d'épaisseur, d'une substance noire, un peu métallique et fibreuse. Cette substance est considérée comme un manganèse *sulfuré.*

Enfin, on connaît plusieurs phosphates de manganèse, dont le seul qui soit un peu répandu, est un phosphate double de manganèse et de fer, connu sous le nom de **Triplite.**

Ce phosphate est un minéral d'un aspect résineux, pesant 3,50, fragile, et présentant souvent des clivages rectangulaires. Il raye légèrement le verre. On le trouve dans quelques filons métallifères, notamment aux environs de Limoges.

MINERAIS DE FER

Le fer apparaît partout comme un des éléments essentiels de l'écorce terrestre.

Dans les roches éruptives il peut être considéré comme élément constituant des roches pyroxéniques et amphiboliques.

Dans les roches sédimentaires, les oxydes jaunes et rouges, le silicate verdâtre, apparaissent comme principes colorants d'une multitude de roches et s'isolent même en gîtes stratifiés.

Comme substances accidentelles, les minerais de fer dominent dans une grande quantité de filons et de gîtes irréguliers subordonnés aux roches éruptives. Les sources minérales qui le déposent, les sublimations volcaniques qui en incrustent les cratères et les fentes d'éruption, semblent encore attester le rôle important que remplit ce métal dans la composition intérieure du globe.

Cette double origine des minéraux à base de fer, origine sédimentaire ou éruptive, a été depuis longtemps appréciée par les maîtres de forge, qui distinguent les minerais appartenant à la première classe sous la dénomination de *mine d'alluvion* pour les dépôts récents et rapprochés de la surface, et de *mine en roche* pour les couches solides qui se trouvent dans la série des terrains stratifiés. Ils désignent sous la dénomination de *minerai de montagne* les minerais cristallins subordonnés aux masses éruptives ou remplissant des filons spéciaux. Une description minéralogique doit nécessairement réunir les espèces, quelle que soit leur origine, mais ces distinctions sont essentielles au double point de vue de l'étude géologique des minerais et de leurs applications industrielles.

On peut rapporter les minerais de fer à trois classes distinctes : les **Oxydes,** les **Carbonates** et les **Sulfures.**

Les oxydes de fer, minerais les plus répandus, sont la base principale de l'industrie métallurgique ; les carbonates y jouent aussi un rôle important; quant aux sulfures, longtemps délaissés, ce sont aujourd'hui de véritables minerais de soufre recherchés pour la fabrication de certains produits chimiques.

Les minerais de fer présentent donc une série d'espèces des plus intéressantes, au point de vue de leur abondance, soit comme roches, soit comme minéraux accidentels, et de leurs applications à l'industrie.

D'après le *Geological Survey*, on exploite en Angleterre de 8 à 10 millions de tonnes de minerais de fer, qui fournissent de 3 500 000 à 3 600 000 tonnes de fonte. Ces minerais sont :

Carbonates lithoïdes du terrain houiller..........	5 000 000
Hématites brunes du millstone grit...............	500 000
Hématites rouges et fer spathique du calcaire carbonifère......................................	1 000 000
Minerais divers du lias et des terrains modernes...	1 600 000

En France, les conditions de la production sont tout à fait différentes, les minerais tertiaires formant la plus grande partie. Ainsi le total des minerais produits étant évalué par le dernier compte rendu à 1 776 400 tonnes, les minerais tertiaires y figurent pour 1 400 000.

Le complément provient des hématites rouges exploitées dans l'étage oxfordien du terrain jurassique, des hématites brunes et des fers spathiques qui existent dans les Alpes et dans les Pyrénées.

Les minerais de fer sont l'objet d'un commerce auquel l'extension des voies de communication perfectionnées donne une importance toujours croissante. Certaines localités privilégiées sous le rapport de l'abondance et de la richesse des minerais de fer, en exportent des quantités considérables. En tête de ces localités se place l'île d'Elbe, qui expédie chaque année 300 000 tonnes, principalement en fer oligiste. Les minerais de l'île d'Elbe, au titre de 55 à 60 pour 100, sont vendus, mis à bord des bateaux, 10^{f},30 la tonne.

Les mines des environs de Bône, en Algérie, exportent des quantités notables de fer oxydulé.

Les fers spathiques et les hématites de la Garrucha, sur la côte d'Espagne, sont également expédiés sur divers points du littoral de la Méditerranée.

Indépendamment des minerais, le fer existe dans une multitude de roches, en quantité telle qu'on peut le considérer comme élément important dans la composition de l'écorce terrestre. La plupart des roches colorées en rouge doivent cette

propriété au peroxyde de fer qui y entre souvent pour des proportions de 10 à 15 pour 100 : tels sont les grès rouges, les argiles rouges, les marnes bariolées de rouge, les marbres et calcaires rouges. L'hématite brune ou fer hydroxydé, est une substance encore plus répandue comme principe colorant en jaune, une multitude de roches arénacées, calcaires ou argileuses.

Certaines roches éruptives renferment du fer en quantité considérable : les porphyres rouges, les amphibolites et surtout les basaltes en contiennent jusqu'à 15 pour 100.

FER NATIF.

Le fer natif ne paraît pas exister parmi les minerais. Tous les échantillons qui peuvent être désignés comme fer natif, proviennent de fragments superficiels, erratiques, identiques ou analogues au fer natif des aérolites.

Les aérolites tombés par exemple en 1841, à Château-Renard, aux environs de Montargis et en 1863 près de Louvain, sont des silicates de magnésie, grisâtres, contenant environ 20 à 25 pour 100 de fer natif disséminé en grains brillants ; ce fer contenant lui-même environ 6 pour 100 de nickel.

Parmi les aérolites authentiques, il en est qui étaient composés uniquement de fer natif, malléable. Ce fer est toujours caractérisé par une proportion de nickel, qui varie de 3 à 9 pour 100. Dès lors il devient presque certain que les fragments ou blocs de fer natif, trouvés à l'état erratique, dans toutes les contrées du globe, tous caractérisés de même par leur alliage avec le nickel, ont la même origine et doivent être classés parmi les aérolites.

Le fer météorique se présente sous deux formes assez distinctes.

La plus connue, sous la dénomination de *fer de Pallas*, est la forme de fragments irréguliers et celluleux. Les parois des cellules sont déchiquetées comme celles des masses scorifiées ou mâchefer, extraites des foyers ; souvent il s'y trouve des grains

vitreux, vert jaunâtre, assimilés au péridot, dont ils ont la composition et à peu près l'apparence.

L'autre forme est celle de masses compactes, en tout semblables à du fer forgé. Ce fer est malléable et à grains très-fins. Un fragment coupé, dressé et poli prend l'éclat de l'acier, et lorsqu'on le plonge dans l'acide azotique pour en faire ressortir le moiré, on détermine un dessin tout à fait spécial. Ce dessin n'est pas celui de nos damassés de fer et d'acier obtenus par le forgeage, il indique au contraire une véritable cristallisation.

La figure 207 est un exemple des dessins cristallins obtenus



Fig. 207. — Fer natif météorique.

de cette manière ; le triangle équilatéral y domine et paraît indiquer une cristallisation octaédrique.

Les masses de fer natif trouvées à la surface du sol, lors même qu'elles sont compactes, ont des surfaces inégales et semblent dégagées de masses fondues.

Nos procédés métallurgiques n'ont jamais produit de fer allié de nickel, ni cristallisé de cette manière.

La composition et la texture cristalline sont donc des caractères spéciaux et distinctifs du fer météorique. Ajoutons que certaines substances qui accompagnent ces masses de fer, par exemple le péridot du fer de Pallas, n'ont pas d'identiques parmi

les minéraux. Toutes ces considérations se réunissent pour justifier l'hypothèse météorique attribuée à ces masses de fer.

FER OXYDULÉ.

Couleurs. — Noir métallique; éclat faible, poussière noire.

Densité. — 5,10.

Dureté. — Rayé par le quartz. Fait feu avec l'acier.

Formes cristallines. — Octaèdres réguliers, simples ou émarginés; dodécaèdres rhomboïdaux.

Point de clivages. — Cassure semi-vitreuse.

Infusible au chalumeau. Inattaquable par l'acide azotique.

Fortement magnétique, c'est-à-dire attirable à l'aimant.

Accidentellement doué du magnétisme polaire et constituant l'aimant naturel.

Le fer oxydulé, cristallisé, a donné à l'analyse :

Fer..................	71,78
Oxygène..............	28,22

proportions qui ne correspondent à aucun oxyde et qui conduisent à la formule $feFe^3$.

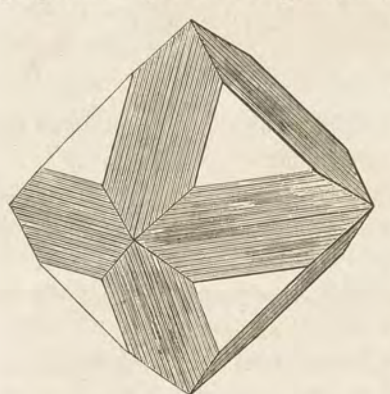


Fig. 208. — Fer oxydulé; octaèdre émarginé.

Les cristaux de fer oxydulé ont pour forme dominante l'octaèdre régulier, cet octaèdre étant sujet à s'émarginer et à passer au dodécaèdre rhomboïdal régulier (*fig.* 208).

On trouve ces cristaux dans les géodes cristallines des minerais de la Suède, soit empâtés dans des roches schisteuses ou talqueuses. A Traverselle, dans le val d'Aoste, les cristaux pré-

sentent des stries d'accroissement simulant des clivages, qui tendent toujours à déterminer les faces du dodécaèdre (*fig.* 209).



Fig. 209. — Fer oxydulé, dodécaèdres rhomboïdaux striés, de Traverselle.

Ces cristaux affectent deux modes distincts; les uns sont de gros cristaux empâtés dans des roches talqueuses, et les stries semblent d'autant plus prononcées que des parcelles de talc s'interposent entre les lames décroissantes; d'autres fois les cristaux sont petits et tapissent les parois des géodes, dans du fer oxydulé cristallin ou compacte. Les stries sont alors plus fines, mais encore très-distinctes; les faces primitives sont miroitantes, avec un vif éclat, tandis que celles qui conduisent au dodécaèdre sont ternes et inégales.

Le fer oxydulé constitue de véritables roches d'apparences diverses.

En Suède, l'état cristallin domine, et plus il est cristallin, plus le minerai est granuleux. Au Taberg, le fer oxydulé cristallin forme des amas dans les amphibolites. Dans les gîtes de Dannemora, il est plutôt compacte; sa cassure est finement grenue, et même conchoïdale; à cet état, le fer oxydulé acquiert une dureté excessive et fait feu sous le choc des outils.

A Cogne, à Traverselle, dans le val d'Aoste, il est en amas et en filons, et certaines veines cristallines présentent le rubannement caractéristique des filons; le fer oxydulé grenu formant des zones répétées, avec la dolomie cristallisée et l'ankérite.

Le fer oxydulé est le minerai dominant dans l'amas puissant exploité au cap Calamita (île d'Elbe); il y est mélangé à des hydroxydes, à des amphibolites et des yénites. Lorsqu'il s'isole,

il est noir, moins éclatant que partout ailleurs et d'un aspect presque résineux ; très-souvent il jouit du magnétisme polaire, et constitue l'aimant naturel.

Le fer oxydulé existe en amas importants aux environs de Bône, en Algérie ; il y est le plus souvent compacte ou finement grenu et passe en se décomposant, à des oxydes rouges ou bruns.

Les minerais de fer oxydulé ont fait la juste réputation des fers de la Suède, et partout où ils existent ils sont l'objet d'exploitations d'autant plus suivies, que les gîtes sont rares et que nulle part, jusqu'à présent, ils n'ont été trouvés dans les conditions d'abondance et de pureté qui existent en Suède.

Dans certaines roches volcaniques et surtout dans les basaltes, le fer oxydulé existe en petits grains disséminés, cristallins et semi-métalliques. Quelquefois les particules sont tellement fines, qu'on ne les distingue pas ; mais les roches agissent sur l'aiguille aimantée et dénotent ainsi l'existence du fer oxydulé.

Lorsque ces roches sont soumises à l'action érosive des eaux, les sables qu'elles fournissent sont plus ou moins riches en fer oxydulé, que l'on peut isoler par l'action d'un aimant : on recueille ainsi un sable noir, plus ou moins grenu, qui est le fer oxydulé contenant une quantité d'acide titanique variable de 5 à 20 pour 100. Sur les côtes d'Italie, on exploite des sables qui sont un mélange de fer oxydulé titanifère et de péridot.

Sous cette dénomination de *fer titané*, on comprend donc toutes les variétés de fer oxydulé mélangé d'acide titanique, dont la proportion peut atteindre 20 pour 100, sans que l'apparence minéralogique change d'une manière notable.

FER OLIGISTE.

Couleur. — Noir métallique, éclatant.

Densité. — 5,20.

Dureté. — Rayé difficilement par le quartz ; fait feu avec l'acier.

Formes cristallines, dérivées d'un rhomboèdre de 86°; cristaux complexes; tables hexagonales.

Point de clivages distincts; cassure inégale, quelquefois vitreuse et conchoïdale, toujours de couleur plus claire et plus éclatante que celle du fer oxydulé.

Infusible au chalumeau. Attaquable par l'acide chlorhydrique.

N'exerce pas d'action sensible sur l'aiguille aimantée.

Le fer oligiste est le peroxyde à l'état cristallisé ou cristallin. Il existe dans deux gisements très-distincts : d'abord en masses cristallines, avec cristallisations géodiques; en second lieu, dans certaines roches volcaniques dont il tapisse les fissures,

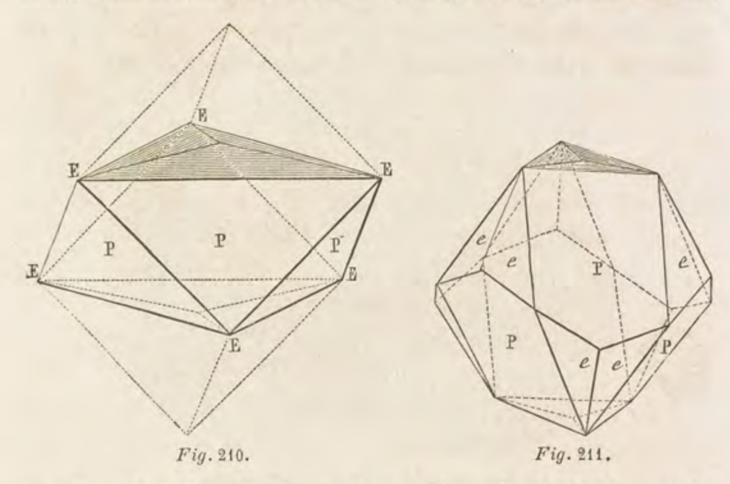


Fig. 210. *Fig.* 211.

et même dans les scories et les cratères des volcans actuels. Dans ces deux gisements, les formes dérivées ne sont pas les mêmes.

Un filon puissant de fer oligiste est exploité de temps immémorial à Rio, dans l'île d'Elbe ; les cristaux qui en proviennent abondent dans toutes les collections et se rapportent à deux formes dominantes (*fig.* 210 et 211).

La première est le rhomboèdre primitif, surmonté d'un rhomboèdre obtus qui tronque les faces jusqu'à la naissance des

arêtes en zigzag, ce qui donne aux cristaux une apparence toute spéciale.

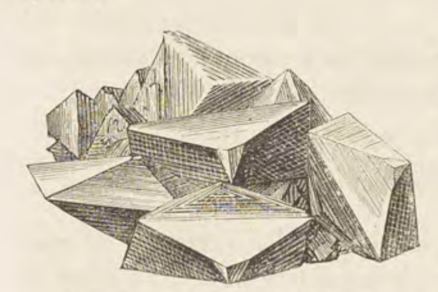


Fig. 212. — Fer oligiste de l'île d'Elbe.

La figure 212 dessinée d'après un groupe de cristaux de l'île d'Elbe, indique l'identité de ces cristaux avec la figure théorique 210.

On remarque sur ces cristaux de petites facettes triangulaires résultant d'un biseau placé sur les angles E. Ces facettes prennent souvent une grande extension et conduisent à la seconde forme, la plus ordinaire à l'île d'Elbe (*fig.* 213), se rapportant à la figure théorique 211.

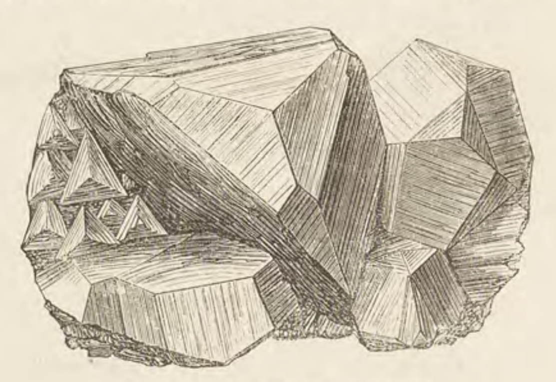


Fig. 213. — Fer oligiste de l'île d'Elbe.

Ces formes cristallines sont particulières à l'île d'Elbe.

On a trouvé en Saxe, dans les fissures des porphyres métallifères, des cristaux de fer oligiste en rhomboèdres primitifs et même en rhomboèdres équiaxes.

A Framont, dans les Vosges, un filon puissant de fer oligiste contient quelques géodes cristallines, où la forme dominante est celle de prismes hexagonaux aplatis et bordés de troncatures sur les arêtes des bases.

Les cristaux des roches volcaniques se rapprochent de cette forme.

Les plus beaux, contenus dans les fissures de certains trachytes du Mont-Dore et du Puy-de-Dôme, sont des lames hexagonales déterminées par les troncatures (*fig.* 214). La section ainsi obtenue, est presque une table hexagonale régulière; les inclinaisons inverses des pans indiquent cependant, les faces du rhomboèdre primitif.

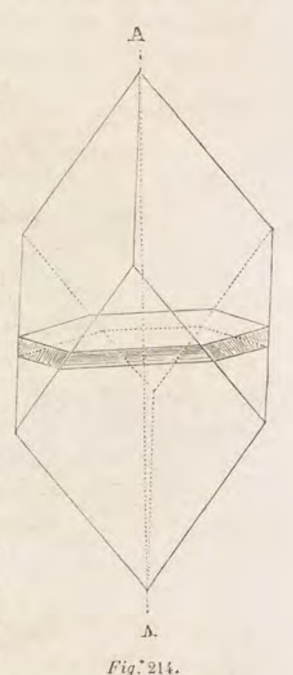


Fig. 214.

Les surfaces de ces tables ou lames hexagonales, sont ordinairement striées, et parmi les dessins que forment ces stries, se distinguent surtout des triangles équilatéraux, indiquant des dispositions moléculaires, suivant les troncatures des sommets du rhomboèdre.

La figure ci-après 215 représente une série de ces lames trouvées dans les fissures des trachytes-domites, du Puy-de-Dôme. Elle met en évidence les formes dérivées du rhomboèdre et les dispositions moléculaires des surfaces qui se rapportent aussi à des troncatures rhomboédriques.

Des cristallisations analogues ont été trouvées parmi les sublimations de fer oligiste, dans les cratères du Vésuve et surtout de Stromboli.

Le fer oligiste est souvent lamelleux et pailleteux. Cette structure vient de sa tendance à cristalliser en lames très-déliées, superposées et empilées, de manière à se diviser ensuite avec une apparence de clivage comparable à celle du mica.

Sous cette forme, le fer oligiste est quelquefois en lames tellement minces, qu'il prend des reflets rougeâtres ou même une couleur rouge très-prononcée.

Lors même qu'il semble compacte, l'état cristallin du fer oligiste est encore attesté par son vif éclat métallique et par sa disposition fréquente en lames superposées ou entre-croisées.

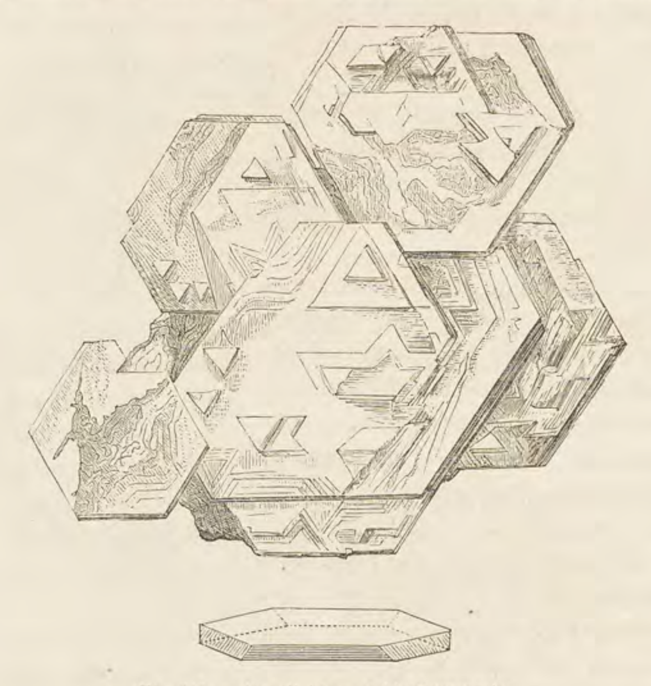


Fig. 215. — Fer oligiste en tables hexagonales.

Sous toutes ces formes appartenant aux filons métallifères, soit aux roches éruptives, la composition du fer oligiste est constante :

Fer..................	69,34
Oxygène..............	30,66

C'est le peroxyde anhydre, à l'état cristallisé ou cristallin.

Comme minerai, le fer oligiste est assez exceptionnel. On l'exploite à l'île d'Elbe; à Framont, dans les Vosges; dans quelques gîtes du Hartz.

Dans presque tous ces gîtes, il est mélangé d'hématites rouges.

Franklinite. — On a trouvé et exploité dans le New-Jersey,

un minerai qui a tout à fait l'apparence du fer oxydulé, et ne s'en distingue que par sa faible action magnétique.

Ce minéral noir, avec éclat semi-métallique, cristallisant en octaèdre régulier, est un fer oxydulé, contenant une certaine proportion d'oxydes de zinc et de manganèse.

HÉMATITE ROUGE.

Il est bien probable que le fer peroxydé est dimorphe, et que son état le plus ordinaire est celui d'hématite rouge, tantôt fibreuse, c'est-à-dire cristalline, tantôt compacte ou terreuse.

L'hématite rouge fibreuse, très-souvent concrétionnée sous forme de sphéroïdes, à texture radiée, avec une pesanteur spécifique constante, avec une dureté également considérable et constante, doit être considérée comme un état cristallin spécial qui, sous tous les rapports, diffère du fer oligiste, et probablement dérive d'un système prismatique.

Le caractère le plus saillant de cette substance est sa couleur d'un rouge sombre, devenant d'un rouge plus clair par la pulvérisation.

La couleur est d'un rouge encore plus vif et plus franc, lorsque l'hématite se mélange d'argile; elle constitue alors l'*ocre rouge* dont une petite quantité suffit pour colorer les roches.

Dans les mêmes amas ou filons, on trouve le fer oligiste et l'hématite rouge; au Hartz notamment, les deux variétés sont mélangées, mais toujours distinctes et sans qu'il y ait de passages minéralogiques qui les réunissent. L'analyse seule autorise l'assimilation.

L'hématite rouge, fibreuse et concrétionnée, existe dans beaucoup de localités, mais surtout en Angleterre, dans le Cumberland, où elle est la base d'une fabrication de fontes dites *fontes d'hématite*, spéciales par leur bonne qualité.

Les blocs concrétionnés et mamelonnés sont empâtés dans une argile rouge dont on l'isole facilement; les parties les plus fibreuses et les plus denses sont susceptibles d'un beau poli et

sont employées pour faire des *brunissoirs* qui servent au polissage des métaux.

A l'état compacte, l'hématite rouge est généralement moins pure, mais assez encore, pour fournir des minerais d'une grande richesse.

Il n'est pas de formation plus remarquable que celle des minerais rouges, situés vers les contacts des schistes argileux et des roches trappéennes (Grunstein), dans le pays de Dillenburg en Westphalie, et dans la vallée de la Lahne. L'hématite pénètre et imbibe les schistes qui deviennent riches à 45 et 50 pour 100 de fer, s'isole même en concrétions, et cela sur une multitude de points toujours situés vers les contacts des masses trappéennes. Ces minerais alimentent principalement les usines métallurgiques de la Ruhr.

L'hématite rouge existe en couches stratifiées, quelquefois à l'état compacte, souvent en grains milliolitiques.

Dans la vallée de la Meuse, les schistes du système quartzo-schisteux, inférieurs au terrain houiller, contiennent des couches de minerai oolitique qui ont une puissance de $0^m,50$ à 2 mètres, et qui sont l'objet d'exploitations actives. Ces minerais, connus dans toute la Belgique, sous la dénomination d'oligistes de la Meuse, sont exploités principalement au-dessus de Namur; ils sont transportés à Liége, Charleroi, Maubeuge, et sont devenus, malgré leur nature un peu argileuse, un des éléments essentiels de la métallurgie de ces contrées; ils sont constamment milliolitiques.

A la Voulte et à Veyras, dans l'Ardèche, des couches d'hématites rouges, compactes, fournissent des minerais précieux sous le double rapport de la richesse et de la puissance. Ces couches contiennent souvent des fossiles, des ammonites, des bélemnites, etc., qui indiquent leur formation sédimentaire, due probablement aux dépôts de sources minérales qui, à l'époque de l'étage oxfordien, abondaient dans toute la région des environs de Lyon et de Privas.

Indépendamment des gîtes où le peroxyde rouge de fer s'est isolé en masses considérables et très-riches, il existe dans une

foule de localités des ocres rouges argileuses, plus ou moins chargées de peroxyde.

L'ocre rouge colore une multitude de roches dans les formations sédimentaires ; telles sont les grès rouges, les argiles rouges, les calcaires rouges. Les marnes bariolées de rouge qui accompagnent le sel gemme, sont presque toujours colorées par le peroxyde de fer.

HÉMATITE BRUNE.

Gœthite, Fe^4Aq.

Couleur. — Brun, brun noirâtre ou clair; poussière jaune.

Densité. — 4,30.

Dureté. — Inférieure à celle des feldspaths; ne fait pas feu avec l'acier.

Formes cristallines. — Prismes droits rhomboïdaux sous l'angle de 94°. Prismes à six pans, surmontés d'une pyramide à quatre faces.

Un clivage diagonal ; cassure souvent fibreuse.

Au chalumeau, donne de l'eau et se convertit en oxyde rouge. Solubles dan l'acide chlorhydrique.

Cette variété, la seule cristallisée, se trouve dans quelques filons et a pour composition :

Peroxyde de fer........	91,70
Eau...........	8,30

ce qui suppose 62 pour 100 de fer.

Les hématites brunes, simplement fibreuses et concrétionnées, que l'on rencontre dans une multitude de gîtes, contiennent 14 ou 15 pour 100 d'eau et seulement 82 de peroxyde, ce qui réduit leur richesse en fer au maximum de 57.

Ces hématites ne pèsent que 3,25 : leur dureté est à peine supérieure à celle du spath calcaire.

Malgré cette réduction du titre, de la densité et de la dureté, il est difficile d'admettre une différence d'espèce entre la gœthite cristallisée ou cristalline, et l'hématite brune, fibreuse concrétionnée, car cette hématite contient presque toujours un peu d'argile mélangée, et plus le fer hydroxydé se charge d'argile, plus il perd ses caractères de densité et de dureté.

Ce qui pourrait cependant plaider en faveur de la distinction en deux espèces, c'est que la gœthite fibreuse et radiée, souvent désignée sous le nom de *Lépidokrokite*, est de couleur plus claire, plus dense et plus dure que l'hématite.

L'hématite brune existe dans un grand nombre de gîtes, en masses concrétionnées et radiées, soit en stalactites. Ces concrétions, souvent à surfaces noires et luisantes, sont, à l'intérieur, d'un brun plus ou moins prononcé; leur poussière est toujours jaune.

Les variations de couleur de ces hématites, sont attribuées au mélange du peroxyde de manganèse.

A l'état compacte, l'hématite brune est d'autant plus légère, d'autant plus fragile et d'autant plus jaune, que la proportion de gangue est plus considérable. On arrive ainsi jusqu'à l'*ocre jaune* qui, avec une proportion de 50 pour 100 d'argile, peut être d'un beau jaune ocreux, suffisant pour être employé comme couleur commune.

Le fer hydroxydé forme la classe nombreuse des minerais dits *minerais d'alluvion*, qui se trouvent en grains *milliolitiques*, *oolitiques* ou *pisolitiques*, mélangés dans les argiles ou des marnes dont on les isole par le lavage. Une marne bien délayable, qui contient seulement 12 à 15 pour 100 de ces grains, est avantageusement exploitable, parce qu'ils sont en général purs et de bonne qualité.

Les fers pisolitiques de la Haute-Saône sont souvent d'un brun noirâtre et manganésifères; en général, on apprécie leur pureté et leur prix d'après la pesanteur spécifique, qui est d'autant plus grande que le mélange d'argile est moindre.

Outre les mines en grains, on exploite, dans des conditions analogues et comme minerais d'alluvion, des fers hydroxydés

terreux en géodes, plaquettes et grains concrétionnés, dont l'ensemble est en général de qualité inférieure à la mine en grains.

Les minerais en grains, qui forment la richesse principale de la France, se trouvent quelquefois rassemblés dans des cavités du terrain jurassique. Ce sont des argiles ferrugineuses, dans lesquelles ces grains sont en proportion plus ou moins grande. Ces minerais sont évidemment postérieurs aux terrains encaissants; mais déjà, dans certaines couches des systèmes oolitiques, on voit apparaître les milliolites de fer hydroxydé, disséminés dans les dépôts argileux et calcaires. Ces couches, avec leurs fossiles transformés en minerais, sont exploitées aux environs de Châtillon et d'Ancy-le-Franc.

La plus grande partie des minerais d'alluvion, exploités dans le Berry, dans la Champagne, dans la Franche-Comté, etc., sont tertiaires ou supra-tertiaires.

D'après Dufrénoy, les minerais en grains ne sont pas seulement formés de fer hydroxydé, ils contiennent une certaine proportion de fer à l'état de silicate et d'aluminate. Presque toutes les analyses indiquent, en effet, une proportion de silice qui varie de 4 à 8 pour 100, et une proportion d'alumine de 5 à 7.

Les minerais les plus riches contiennent de 65 à 75 pour 100 d'hydroxyde de fer, la moyenne est de 55 à 60, et les plus pauvres 45. On abandonne les minerais qui sont au-dessous de 45 pour 100 d'oxyde, et, par conséquent, ne rendent pas 30 pour 100 de fonte.

Les minerais superficiels que l'on désigne sous les dénominations de *limonites* des marais, minerais bruns, bruns ou verdâtres, à cassure finement terreuse et parfois un peu résineuse, sont également composés de fer hydroxydé, mais ils contiennent une petite proportion de phosphate de fer.

FER CARBONATÉ

Fer spathique, FeC^2.

Couleurs. — Jaune chamois, jaune brun; apparence lithoïde; poussière grisâtre.

Densité. — 3,80.

Dureté. — Raye le spath calcaire; rayé par le spath fluor.

Formes cristallines. — Rhomboèdres de 107°; rhomboèdres obtus, équiaxes. Prismes hexagonaux.

Trois clivages faciles, parallèles aux faces du rhomboèdre primitif.

Au chalumeau, se décompose en oxyde. Soluble avec une effervescence très-lente dans l'acide azotique.

Le fer carbonaté spathique est un minerai très-fréquent, mais assez rare en masses considérables. Les gîtes des environs d'Allevard dans les Alpes, du Canigou dans les Pyrénées, du Stahlberg en Westphalie, et ceux de la Styrie, sont tous devenus les éléments d'industries spéciales, produisant les fontes à acier ou les aciers naturels, ce qui fait souvent désigner le fer spathique sous la dénomination de *minerai d'acier*.

Dans tous ces gîtes, les cristaux sont abondants, et presque tous se rapportent à la forme primitive.

Les plus beaux groupes viennent des environs d'Allevard; la figure 216 est un exemple, qui fait en même temps ressortir les clivages rhomboédriques des cassures.

Parmi les cristaux des Alpes, il existe plusieurs modifications du rhomboèdre primitif; la plus fréquente est la transformation en rhomboèdres équiaxes, auxquels les arêtes arrondies et les angles oblitérés donnent l'apparence de cristaux lenticulaires.

Le fer spathique en cristaux lenticulaires de Traverselle, figure dans toutes les collections.

Lorsque les fers spathiques sont extraits, en profondeur, d'un massif plein et bien sain, ils sont d'un jaune très-pâle. Exposés à l'air, pendant longtemps, ils brunissent, et les parties supérieures des gîtes sont, en général, plus ou moins brunies.

Plus le fer spathique est manganésifère, plus il tend à brunir. Cette proportion de manganèse est d'ailleurs considérée comme

l'origine de la qualité des fers spathiques pour la fabrication de l'acier ; ils sont d'autant plus recherchés qu'ils sont plus manga-

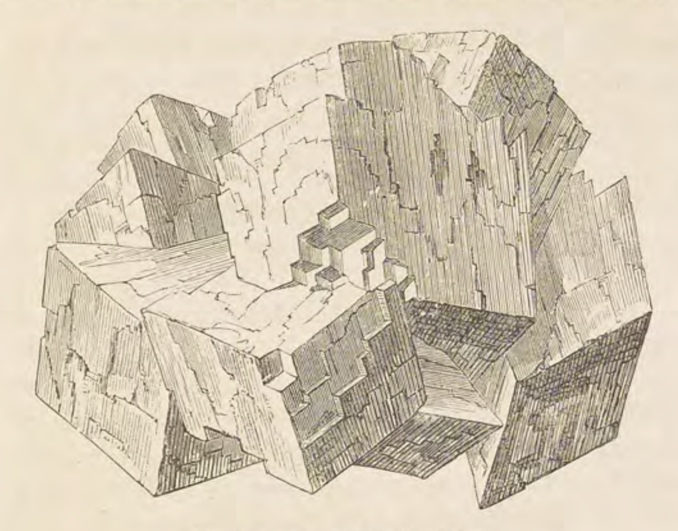


Fig. 216. — Fer carbonaté spathique.

nésifères. Les proportions de manganèse sont très-variables ; des analyses de cristaux ont donné :

	STAHLBERG.	ISÈRE.
Protoxyde de fer...........	44,90	43,60
Protoxyde de manganèse...	10,10	1,00
Chaux et magnésie........	3,90	12,80
Acide carbonique..........	41,10	42,60

Les minerais spathiques les plus recherchés pour la fabrication du fer et de l'acier, sont les minerais bruns ou noirâtres plus ou moins décomposés. Tels sont ceux de la Styrie, qui fournissent les aciers naturels pour la fabrication des faulx et de la taillanderie. Ces minerais ont conservé le manganèse, mais ont été débarrassés des pyrites par la décomposition qu'ils ont subie.

Les fers spathiques sont en effet des minerais de filons; ils sont donc sujets à se mélanger de pyrites.

Partout où ce minerai existe en gîtes assez puissants, il déve-

loppe des fabrications de fer de qualité ou d'acier. Nos forges d'Allevard, dans l'Isère, sont alimentées par des filons de fer spathique. Au Stahlberg, près de Siegen, un filon puissant de fer spathique manganésifère a développé une fabrication de fontes à acier, qui ont fait la réputation des aciers de Westphalie.

Le **fer carbonaté lithoïde** se présente dans des conditions toutes différentes de gisement, de composition et d'emploi. On le trouve dans les argiles schisteuses du terrain houiller, en rognons disséminés et quelquefois même en couches. Il est compacte, gris, à cassure finement grenue; pèse de 3,20 à 3,50, et se distingue seulement par sa densité, des argiles grises dans lesquelles il est stratifié.

Lorsqu'on brise les rognons de fer carbonaté lithoïde, on voit quelquefois au centre, un fossile ou un noyau, autour duquel s'est faite la précipitation ferrugineuse; d'autres fois l'intérieur est vide et les parois présentent des fissures dues au retrait de la substance lorsqu'elle s'est desséchée.

L'analyse de plusieurs échantillons des fers carbonatés du Staffordshire a donné en moyenne :

Carbonate de fer.......	80,60
Carbonate de chaux....	2,80
Argile.................	13,10
Bitume et eau.........	3,50

Cette composition représente les minerais les plus purs et ne s'applique pas à tous. La proportion des matières étrangères indiquées atteint et dépasse 30 pour 100 ; dans beaucoup de gîtes, il s'y joint du phosphate de fer qui nuit beaucoup à la qualité des fontes obtenues.

Le fer carbonaté lithoïde est la base de la fabrication du fer dans les bassins houillers du pays de Galles et de l'Écosse.

En France, nos terrains houillers ne renferment que de faibles quantités de ces minerais en rognons ; les couches qui existent dans les bassins de la Loire et de l'Aveyron ne sont pas assez pures pour être utilisées.

FER SULFURÉ.

FeS^2.

Le fer sulfuré est dimorphe et constitue par conséquent deux espèces distinctes, non par leur composition, mais par leurs caractères minéralogiques :

L'une est désignée sous le nom de **Pyrite jaune**, et l'autre de **Pyrite blanche.**

La plus répandue des deux espèces est la *Pyrite jaune,* dont les caractères sont :

Couleur. — Jaune bronze, éclat métallique très-vif; cet éclat ne se ternit pas à l'air.

Densité. — 5.

Dureté. — Entre celle du quartz et celle du feldspath ; fait feu avec l'acier, en dégageant une odeur sulfureuse.

Formes cristallines. — Le cube et presque tous ses dérivés : l'octaèdre, le dodécaèdre pentagonal, l'icosaèdre et les formes mixtés.

Point de clivages. — Cassure inégale et grenue ; poussière verdâtre.

Au chalumeau, se grille avec dégagement d'acide sulfureux. Fusible ensuite en un bouton noir magnétique.

La composition des cristaux de fer sulfuré est : 54,26 de soufre et 45,74 de fer.

Cette substance est presque toujours cristalline et souvent cristallisée. Les cristaux les plus répandus sont le cube, l'octaèdre, le cubo-octaèdre, le dodécaèdre pentagonal et le cubo-dodécaèdre.

Ce dernier solide mixte, est remarquable en ce que les faces primitives du cube, portent généralement des stries produites par les reprises des troncatures qui conduisent au dodécaèdre ainsi que l'indique la figure 217. Souvent même on trouve des cubes portant des stries ainsi disposées, qui indiquent la

tendance des molécules à suivre le groupement dodécaèdre.

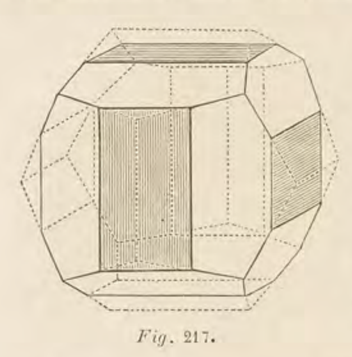


Fig. 217.

Les plus gros cristaux sont les dodécaèdres ; la figure 218 est dessinée d'après un cristal de l'île d'Elbe, qui n'a pas moins de $0^m,15$ de diamètre.

Ces gros cristaux sont toujours incomplets et leurs faces portent beaucoup de stries et d'inégalités qui résultent de ce qu'ils sont en réalité composés par l'enchevêtrement d'une multitude de cristaux semblables.



Fig. 218. — Fer sulfuré dodécaèdre pentagonal.

Les icosaèdres sont assez rares, mais on trouve très-fréquemment la forme mixte du dodécaèdre pentagonal passant à l'icosaèdre (*fig.* 219).

On voit, d'après ces figures, que l'icosaèdre est obtenu par la troncature de huit angles solides de même espèce. Ces troncatures triangulaires sont elles-mêmes, quelquefois modifiées, et

portent des facettes qui encadrent chaque triangle, ains iqu'il est indiqué par la figure 220.

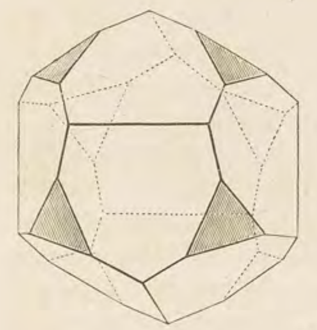


Fig. 219.

Les plus beaux cristaux cubiques, cubo-octaèdres et octaèdres viennent de Traverselle; les plus beaux dodécaèdres pentagonaux et icosaèdres de l'île d'Elbe.

La pyrite jaune est d'ailleurs une substance tellement répandue dans les filons métallifères, qu'un très-grand nombre de localités fournissent de belles cristallisations.

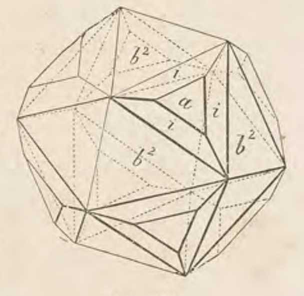


Fig. 220.

Les variétés simplement cristallines ou même compactes ne peuvent figurer parmi les minerais de fer, mais elles contiennent plus de soufre que de fer, et par suite, sont très-recherchées pour la fabrication de l'acide sulfurique.

La **Pyrite blanche**, est ainsi nommée parce qu'elle est en effet d'un blanc jaunâtre, avec un éclat métallique un peu moins prononcé que la pyrite jaune.

Cette espèce diffère surtout de la précédente, par sa cristallisation, qui a pour forme primitive un prisme droit rhomboïdal de 106°.

Les prismes sont ordinairement aplatis et terminés par un biseau *e* dont les faces sont dominantes.

Ces cristaux groupés au nombre de cinq, autour d'un axe commun, donnent lieu à la forme représentée figure 221, dont les angles rentrants indiquent le groupement.

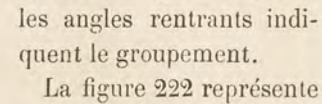


Fig. 221.

La figure 222 représente un groupe naturel de ces cristaux, dont les faces n'ont jamais la netteté ni la couleur brillante de la pyrite jaune.

La composition étant cependant identique, le dimorphisme est démontré.

La forme prismatique de la pyrite blanche est surtout mise en évidence par la structure fibreuse et radiée de ses masses cristallines, structure qui n'existe jamais dans la pyrite jaune. On trouve dans les dépôts crétacés une multitude



Fig. 222. — Fer sulfuré blanc.

de rognons concrétionnés, de pyrite blanche, à cassure fibreuse et radiée.

La pyrite blanche possède une propriété toute particulière; elle s'effleurit et se décompose à l'air humide, en se transformant en sulfate. De là une application spéciale, elle sert à fabriquer le sulfate de fer ou couperose verte.

C'est à cause de cette propriété, que l'on voit dans beaucoup de terrains, des cristaux et des concrétions de pyrites transformés en fer hydroxydé.

La pyrite blanche ne se trouve pas dans les mêmes gîtes que la pyrite jaune; elle est rare dans les filons et abondante dans les terrains sédimentaires. Elle existe aussi dans certains gîtes métallifères concrétionnés et très-rapprochés de la surface.

Le prix des pyrites de fer varie de 20 à 30 francs la tonne.

FER SULFURÉ MAGNÉTIQUE.

Pyrite magnétique, $FeS^2 + 6FeS$.

Couleur. — Brun bronzé; éclat métallique faible.

Densité. — 4,60.

Dureté. — Rayé par la pyrite de fer ordinaire.

Formes cristallines. — Cristaux très-rares, rapportés au prisme hexagonal régulier. *Un clivage* facile parallèle à la base; cassure lamelleuse dans le sens de ce clivage, grenue et inégale dans un sens transversal.

Attire faiblement l'aiguille aimantée.

La pyrite magnétique, beaucoup plus rare que la pyrite ordinaire, s'en distingue au premier coup d'œil, par sa couleur brune et sa texture lamelleuse.

Les plus beaux échantillons viennent de Bodenmais en Bavière. Sa composition est 59,85 de fer et 40,15 de soufre.

FER ARSENICAL.

Mispickel, $FeS^2 + FeAs^2$.

Couleur. — Blanc d'étain; éclat métallique vif; quelquefois un peu grisâtre.

Densité. — 6,10.

Dureté. — Fait feu avec l'acier; rayé par le quartz.

Formes cristallines. — Prisme droit rhomboïdal de 111° dominant; modifications peu développées.

Point de clivages. — Cassure grenue, inégale. Par le choc du marteau, donne des étincelles et dégage une odeur alliacée très-prononcée.

Au chalumeau, dégage des vapeurs arsenicales et se fond en un bouton noir magnétique. Soluble dans l'acide azotique.

Le mispickel est une substance très-fréquente dans certains filons stannifères ou argentifères, mais se présente assez rarement en masses considérables.

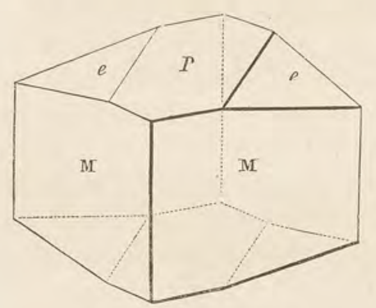


Fig. 223. — Fer arsenical.

Les cristaux sont quelquefois en prismes allongés, notamment dans les filons de Freyberg; plus souvent en prismes courts modifiés sur les angles E, (*fig.* 223), par deux troncatures qui déterminent des stries fréquentes parallèles à la petite diagonale.

L'analyse de ces cristaux a donné en nombres ronds :

Soufre.................	20
Arsenic................	44
Fer....................	35

d'où l'on a été conduit à la formule $FeS^2 + FeAs^2$.

Le mispickel est en réalité un minerai d'arsenic.

Le mispickel se présente à l'état cristallin, fibreux, ou plutôt en groupes bacillaires : on le trouve plus souvent à l'état compacte, avec une structure finement grenue comme l'acier. Quelquefois il est mélangé aux pyrites de fer ; sa présence dans ces magmas, se décelant par la couleur pâle et jaune verdâtre que prend la pyrite et par les vapeurs arsenicales que l'on obtient sous le choc du briquet.

A Reichenstein, en Silésie, on l'exploite en amas et veines disséminées dans une serpentine. C'est le gîte le plus important qui soit connu, et l'on y a trouvé des prismes droits rhomboïdaux de 122°, avec un clivage parallèle à la base. Ces cristaux contiennent 65 pour 100 d'arsenic, et seulement des traces de soufre, ce qui a fait penser qu'il existait une seconde espèce qui serait le véritable fer arsenical $FeAs^2$.

Sauf les différences signalées dans sa cristallisation, et une pesanteur spécifique de 7,20, le fer arsenical de Reichenstein présente les mêmes apparences que le mispickel.

FER SILICATÉ.

Les silicates de fer abondent dans certaines roches qu'ils colorent en vert, mais ils s'isolent rarement en minéraux que l'on puisse définir.

Cependant on a trouvé sur plusieurs points, et notamment dans la montagne de Chamoison, en Valais, un minerai oolitique, d'un vert foncé, que l'on a exploité, et dont l'analyse est :

Silice	14,30
Alumine	7,80
Protoxyde de fer	60,50
Eau	17,40

Il y a évidemment là, concentration, par la structure oolitique, d'une espèce minérale qui est le silicate de fer, espèce à laquelle on a donné le nom de *chamoisite*. Ce minerai est également exploité dans le Morbihan.

FER PHOSPHATÉ.

Il en est du fer phosphaté comme de beaucoup d'autres combinaisons du fer; il est assez répandu pour altérer la pureté de beaucoup de minerais, notamment des fers carbonatés lithoïdes et des limonites des marais; et cependant, il s'isole rarement.

Il existe plusieurs espèces de phosphates de fer que l'on a

désignées sous les dénominations de phosphates *bleus*, qui sont les plus répandus, et les phosphates *verts*, qui paraissent former au moins une espèce beaucoup plus rare.

Les phosphates bleus se présentent soit en masses terreuses d'un bleu assez clair, soit en petits cristaux prismatiques. Les phosphates terreux se trouvent surtout en petits nœuds dans les argiles tourbeuses et les limonites des marais.

Dans les filons du Cornwall, de Bodenmais, etc., dans les houillères embrasées de Commentry et d'Aubin, on trouve beaucoup de cristaux bleus, de fer phosphaté. Ces cristaux sont des prismes rhomboïdaux obliques, sous l'angle de 108°.

Les phosphates verts ont été rencontrés en nodules fibreux et radiés, d'un vert olive très-foncé, aux environs d'Anglar dans le Limousin. On désigne sous le nom de *dufrénite*, cette espèce beaucoup moins hydratée que le phosphate bleu.

WOLFRAM.

$(Fe,Mn)W^3$.

Couleur. — Noir métallique; éclat faible.

Densité. — 7,20.

Dureté. — Rayé par le feldspath et par l'acier.

Formes cristallines. — Prismes rhomboïdaux obliques M/M = 101 P/M = 110. Ces prismes sont modifiés sur les sommets et sur les arêtes latérales.

Un clivage facile; diagonal, parallèle à la face *g*. Cassure lamelleuse suivant ce clivage; inégale et grenue dans les autres sens.

Fusible au chalumeau en émail noir. Attaqué à chaud par l'acide chlorhydrique avec précipité d'acide tungstique.

Le wolfram existe soit en masses lamelleuses, noires et miroitantes, avec un éclat métallique faible; soit en demi-cris-

taux, qui présentent en général l'arête *g* et deux demi-sommets. Ces cristaux sont disposés de telle sorte que c'est l'arête latérale *g*, qui se dégage en saillie, et qui semble former l'arête d'un sommet (*fig.* 224).

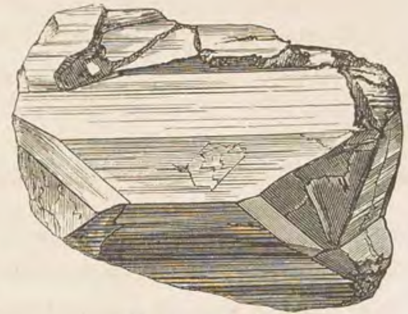


Fig. 224. — Wolfram.

Le wolfram provient, en France, d'une exploitation située aux environs de Limoges ; il paraît moins pur que le wolfram de l'Erzgebirge, qui est presque toujours cristallisé sous la forme indiquée ci-dessus.

Les analyses du wolfram accusent assez régulièrement une proportion de 76 pour 100 d'acide tungstique. Les bases varient pour le protoxyde de fer de 10 à 20, et pour le protoxyde de manganèse de 4 à 14 pour 100. Le wolfram cristallisé de Bohême est le plus manganésifère.

Le wolfram est une substance accidentelle assez fréquente dans les gîtes stannifères.

Il est actuellement assez recherché pour la fabrication des fontes au wolfram. Les fontes chargées de 2 pour 100 de wolfram, paraissent, en effet, acquérir une plus grande résistance à la rupture.

Le wolfram, préalablement pulvérisé et grillé (pour en chasser les traces d'arsenic), est jeté et mélangé dans la fonte liquide. La réduction de l'acide tungstique se fait probablement aux dépens du carbone de la fonte, et celle-ci, par la diminution de son carbone et par son alliage avec le tungstène, tend à se rapprocher de la nature de l'acier.

Ces applications et les essais de fabrication de l'acier allié au tungstène, ont donné au wolfram un intérêt probablement passager; car, si l'on venait à en demander aux exploitations des quantités un peu importantes, le prix s'élèverait de manière à en rendre l'usage impossible.

FER CHROMÉ.

(FeAl)Cr.

Couleur. — Noir ; éclat semi-métallique.

Densité. — 4,50.

Dureté. — Rayé par le feldspath ; raye le verre.

Forme cristalline. — L'octaèdre régulier.

Point de clivages ; cassure inégale et grenue.

Infusible au chalumeau ; avec addition de borax, se fond en un verre, d'un beau vert émeraude. Insoluble dans les acides.

Les cristaux octaédriques de Baltimore donnent à l'analyse :

Oxyde de chrôme......	53
Peroxyde de fer........	31

et le reste en alumine ; ce qui conduit à la formule *(FeAl)Cr.*

FER TITANÉ.

On comprend sous cette dénomination générale une série d'espèces minérales, ayant l'apparence plus ou moins complète du fer oxydulé, et qui paraissent être des *Titanates de fer* ou des mélanges de ces titanates avec le fer oxydulé.

Les basaltes contiennent souvent des grains d'un noir brillant et semi-métallique, attirables à l'aimant, ayant tous les caractères du fer oxydulé. Lorsque ces variétés de roches basaltiques sont désagrégées et réduites à l'état de sable par l'action érosive des eaux, on peut y recueillir, par le lavage ou par l'action attractive d'un aimant, un sable métallique de ce fer oxydulé. Sur quelques points de la côte, aux environs de Naples, il existe de véritables exploitations de ces sables, et le minerai obtenu,

formé de grains de fer oxydulé et de péridot, est expédié aux usines métallurgiques, notamment à celle de Marseille.

L'analyse indique constamment dans ce fer oxydulé volcanique, la présence de l'acide titanique, dans une proportion de 5, 10 et même 20 pour 100.

C'est le véritable *fer titané* ou mélange de fer oxydulé et de titanate de fer. Il existe des combinaisons chargées de titane, que l'on désigne sous les noms d'*ilménite*, *nigrine*, etc.

L'**Ilménite** est une substance noire, dont l'éclat métallique est plus faible que celui du fer oxydulé, ayant moins de dureté et pesant 4,65.

Cette substance se distingue du fer oxydulé, d'abord parce qu'elle n'est point magnétique, et en second lieu par la forme des cristaux qui sont des prismes hexagonaux réguliers, très-courts, surmontés des faces d'un rhomboèdre.

L'ilménite contient 47 pour 100 d'acide titanique.

TITANE OXYDÉ.

Le titane abonde dans certains minerais de fer oxydulé où sa proportion atteint 5 et 20 pour 100; mais ses minerais propres sont tous des substances rares.

Ces minerais se bornent d'ailleurs à une seule espèce, le *titane oxydé* ou plutôt l'*acide titanique*.

Toutes les autres substances dans lesquelles le titane entre en proportion notable, ne sont que des titanates de fer.

Le titane oxydé se présente sous des formes cristallines différentes, que l'on distingue par les dénominations de **Rutile**, **Anatase** et **Brookite.**

Des trois minéraux ainsi désignés, deux diffèrent par leurs formes primitives, par leur densité, leur dureté, etc., bien qu'ils donnent tous deux à l'analyse, 98 d'acide titanique, et de 1 à 2 d'oxyde defer.

L'acide titanique est donc dimorphe.

Le **Rutile** est la forme la plus ordinaire du titane oxydé.

Il est brun rougeâtre, avec un éclat plutôt résineux que métallique; quelquefois translucide, le plus souvent opaque. Les variétés translucides sont rouges par transparence, d'où est venu le nom de *rutile*.

Les formes cristallines se rapportent au prisme droit, à base carrée, modifié sur les arêtes du prisme, et sur les bases par des sommets quadrangulaires.

La pesanteur spécifique du rutile est 4,25; sa dureté est égale à celle du feldspath.

Les plus beaux cristaux de rutile viennent de l'Oural et de Pensylvanie; ce sont des prismes à huit pans, surmontés d'une pyramide quadrangulaire. Des cristaux plus petits, mais plus nets, ont été trouvés dans les roches métamorphiques des Alpes ou viennent du Brésil; ces cristaux sont quelquefois translucides.

On remarque, parmi les formes du rutile, des mâcles sous plusieurs inclinaisons.

Enfin on trouve le rutile en cristaux aciculaires. C'est surtout dans le quartz hyalin, qu'il se présente sous forme d'aiguilles ou de filaments capillaires; les quartz titanifères du Dauphiné et du Brésil ont été autrefois très-recherchés en joaillerie.

L'**Anatase** se présente en petits octaèdres aigus, à base carrée, translucides, bruns ou bruns bleuâtres; rayés par le rutile, et pesant seulement 3,85.

Cette substance a été trouvée dans les roches métamorphiques du Dauphiné, avec les cristaux d'albite.

Il nous vient du Brésil des cristaux d'anatase assez gros, qui diffèrent seulement de ceux du Dauphiné par de larges troncatures sur les sommets des octaèdres aigus, de manière à les transformer en octaèdres *basés*, quelquefois même en prismes aplatis ou tables carrées biselées sur les bords.

La **Brookite** est encore un minéral du Dauphiné, brun rougeâtre, sans éclat métallique, quelquefois translucide. Les cristaux sont des tables minces, très-modifiées sur les bords et dérivées d'un prisme droit rhomboïdal de 121°, par la dilatation

excessive de deux troncatures *g*, parallèles à un des plans diagonaux.

La pesanteur spécifique de ces cristaux est 4,10, et leur dureté est celle du feldspath.

Leur composition est identique à celle du rutile et de l'anatase, mais leurs formes dérivées du prisme droit rhomboïdal établissent le dimorphisme.

MINERAIS DE TANTALE, CÉRIUM, YTTRIA.

On donne le nom de **Tantalite** à des tantalates de fer et de manganèse, tout à fait comparables aux titanates précédemment indiqués.

Ce sont des substances noires, semi-métalliques, difficilement rayées par le quartz, pesant de 6 à 7.

Les cristaux, d'ailleurs très-peu nets, ont fait penser qu'il existait deux espèces différentes, ou du moins qu'il y avait dimorphisme. On distingue :

La *tantalite*, contenant 77 d'acide tantalique, 13 d'oxyde de fer et 10 d'oxyde de manganèse, cristallisant en prismes rhomboïdaux obliques, sans clivage;

La *baiérine*, ayant une composition analogue, peut-être un peu plus riche en fer, et cristallisant en prismes droits rhomboïdaux.

On a trouvé dans certaines roches granitiques de Suède et de Norwége, et principalement aux environs d'Itterby, une série de minéraux compactes, composés de tantale, de cérium et d'yttria, dont les variétés principales sont la **Cérite**, l'**Yttrotantalite**, la **Gadolinite** et l'**Orthite**.

La **Cérite**, $CeSi + Aq$, se présente en veines et nodules d'une matière amorphe et lithoïde, d'un brun un peu rosé, ayant une cassure grenue et un éclat un peu gras.

Cette substance raye l'apatite et pèse 4,90.

Elle se charge quelquefois de fer et devient noire, un peu résineuse; elle prend alors le nom de *Cérine*.

L'**Yttrotantalite** est également amorphe et lithoïde, de couleur variable, depuis le jaune brun jusqu'au noir. Sa densité, de 5,50, annonce un minerai ; sa dureté, supérieure à celle de l'apatite, indique une espèce spéciale.

C'est seulement l'analyse : 50 à 60 d'acide tantalique, de 20 à 25 d'yttria, qui indique la nature toute particulière de ce minerai, d'ailleurs fort rare.

La **Gadolinite** est un silicate d'yttria, en petites masses amorphes, noires, d'un aspect résineux, pesant 4 et rayant le verre.

On a cité quelques cristaux de gadolinite en prismes rhomboïdaux obliques.

L'**Orthite**, noire, à cassure semi-vitreuse, conchoïdale et d'un aspect résineux, a la plus grande analogie avec la gadolinite, quoique sa composition soit différente.

C'est un silicate d'alumine, de cérium et d'yttria, dont la nature, moins métallifère, se reconnaît à la diminution de sa pesanteur spécifique, qui se réduit souvent à 3.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES

SILICATES.

SILICATES ALUMINEUX.

MICAS ET CHLORITES.

FELDSPATHS.

GEMMES ALUMINEUSES.

ZÉOLITES ALUMINEUSES.

SILICATES TRAPPÉENS.

SILICATES DE MAGNÉSIE.

PYROXÈNES ET AMPHIBOLES.

GEMMES.

ZÉOLITES.

ESPÈCES MÉTALLIQUES ET MINERAIS.

MINERAIS D'ARGENT.

MINERAIS D'ARSENIC.

MINERAIS DE COBALT ET DE NICKEL.

MINERAIS D'URANE, DE BISMUTH, DE MOLYBDÈNE.

MINERAIS DE MANGANÈSE.

MINERAIS DE FER.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

CORBEIL. — Typ. et stér. de CRÉTÉ.

EXTRAIT DU CATALOGUE

DE LA LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE

DE

J. BAUDRY, ÉDITEUR

A PARIS, 15, RUE DES SAINTS-PÈRES

MÊME MAISON A LIÉGE

ALCAN (Michel). **Traité complet de la filature du coton.** 1 gros volume in-8 et un atlas grand in-4 de 38 planches doubles. 35 fr.

—— **Études sur les arts textiles à l'Exposition universelle de 1867.** 1 volume in-8 et un atlas in-4 de 25 planches doubles. 30 fr.

—— **Traité du travail de la laine cardée.** 2 volumes in-8 et atlas in-4 de 40 planches doubles. 50 fr.

—— **Traité du travail des laines peignées.** 1 gros volume in-8 et un atlas in-4 de 58 planches doubles. 40 fr.

Annales du Conservatoire des arts et métiers. Les Annales du Conservatoire paraissent en fascicules de 160 à 200 pages in-8 avec gravures. Quatre fascicules forment un volume.

Prix de l'abonnement par volume :

Pour la France et la Belgique 20 fr.
Pour l'Étranger. 24 fr.

ARMENGAUD (jeune). **Formulaire de l'Ingénieur.** 1 vol. in-12. 4 fr.

—— **L'Ouvrier mécanicien.** 1 vol. in-12 avec planches. 4 fr.

AUBINEAU (dit Poitevin la fidelité). **Traité complet et pratique de la construction des escaliers en charpente et en pierre.** Atlas in-folio de 30 planches et 1 volume de texte in-18. 12 fr.

AURÈS. **Étude des dimensions du Grand Temple de Pæstum.** 1 volume in-4 et un atlas grand in-folio de 7 planches doubles. 25 fr.

—— **Concordance des vases apollinaires et de l'Itinéraire de Bordeaux à Jérusalem.** 1 volume in-8. 3 fr.

BADOIS. **Étude sur les moyens mécaniques,** employés au canal de Suez, 1 brochure in-8, planche. 2 fr. 50

BALDUS. **Palais du Louvre et des Tuileries.**

1re partie, décoration intérieure. 100 pl. in-folio. 150 fr.
2e — — extérieure. 100 pl. in-folio. 150 fr.

BALDUS. **Recueil d'ornements.** 100 pl. in-folio imprimées sur papier de Hollande, précédées d'une notice. 100 fr.

—— **Œuvre de A. Ducerceau.**

On vend séparément :

Les Petites Arabesques. 62 planches in-4. 55 fr.

Les Grandes Arabesques. 35 planches in-folio. 35 fr.

Les Cheminées. 20 planches in-folio. 20 fr.

Les Meubles. 52 planches in-folio. 52 fr.

BALTARD. **Villa Médicis et Académie de France à Rome.** 19 planches et 30 feuilles de texte grand in-folio. 45 fr.

BARLET. **Tenue des livres** appliquée à la comptabilité des mines, de houille, des hauts-fourneaux et des usines à fer. 1 vol. in-8. 7 fr. 50

BARQUI. **L'Architecture moderne en France.** 1 vol. in-folio comprenant 120 planches et texte. 100 fr.

BARRAULT et BRIDEL. **Le Palais de l'industrie et ses annexes.** 30 pl. grand in-folio avec texte in-folio. 30 fr.

BÈDE. **Résumé du cours de physique.** 1 vol. in-8 avec planches. 6 fr.

BEYNAC. **Traité d'arithmétique.** 1 volume in-8. 6 fr.

BLANDOT. **Maisons et écoles communales de la Belgique.** 1 volume in-folio comprenant 120 planches et un texte descriptif et explicatif. 60 fr.

BORIE. **Aérodômes.** 2[e] édition, 1 vol. in-4 avec 2 planches. 2 fr.

BOSC (Ernest). **Traité complet de la tourbe.** 1 volume in-8 avec 26 fig. dans le texte. 4 fr.

—— **Étude sur les chaussées dans les grandes villes.** 1 brochure in-8. 1 fr.

BOSSUET (Fr.). **Traité de perspective linéaire.** 2 volumes in-8 et 1 atlas in-folio de 57 planches, cartonné. 36 fr.

BOUSSARD (J.). **Études sur l'art funéraire moderne.** 1 volume grand in-folio contenant 200 planches. 120 fr.

—— **Recueil des tombeaux les plus remarquables.** 1 volume in-4 contenant 52 planches gravées. 50 fr.

BRUÈRE. **Traité de consolidation des talus, routes, canaux et chemins de fer.** 1 volume in-18 jésus et 1 atlas de 25 pl. in-4. 10 fr.

BRULL. **Comparaison des propriétés résistantes du fer et de l'acier.** Brochure in-8. 2 fr.

BUDAN. **La Guadeloupe pittoresque.** 1 volume grand in-fol. cart. 50 fr.

BURAT. **Minéralogie appliquée.** 1 volume in-8 avec 224 figures intercalées dans le texte. 10 fr.

—— **Cours d'exploitation des mines.** 1 volume grand in-8 et 1 atlas in-folio de 88 planches. 50 fr.

—— **Le Matériel des houillères.** 1 volume grand in-8 et 1 atlas de 77 pl. in-folio. 60 fr.

BURAT. **Supplément au matériel des houillères.** 1 vol. grand in-8 et 1 atlas de 40 planches in-folio. 30 fr.

—— **Les Houillères de la France en 1866.** 1 volume grand in-8 et un atlas in-4 de 25 pl. dont plusieurs doubles et triples. 20 fr.

—— **Les Houillères en 1867.** 1 vol. grand in-8 et 1 atlas de 25 planches dont plusieurs doubles et triples. 20 fr.

—— **Les Houillères en 1868.** 1 vol. grand in-8 et 1 atlas in-4 de 25 pl. dont plusieurs doubles et triples. 20 fr.

—— **Les Houillères en 1869.** 1 vol. grand in-8 et 1 atlas in-4 de 12 pl. dont plusieurs doubles et triples. 15 fr.

—— **Les Houillères en 1872.** 1 vol. grand in-8 et 1 atlas in-4 de 10 pl. doubles. 15 fr.

—— **Les Houillères en 1873.** 1 vol. grand in-8 et 1 atlas in-4 de planches. (Sous presse.)

—— **Applications de la géologie à l'agriculture.** 1 vol. in-16. 1 fr. 50

—— **Situation de l'industrie houillère en 1859.** 1 vol. in-8. 5 fr.

—— **Situation de l'industrie houillère en 1860, 1861, 1862, 1863, 1864.** Chaque volume. 2 fr. 50

BURY. **Traité de la législation des mines.** 2 vol. in-8. 18 fr.

CAHEN. **Métallurgie du plomb en Belgique.** 1 vol. in-8, 230 pages, 10 planches et tableaux. 5 fr.

CASTERMANS (Auguste). **Parallèle des maisons de Bruxelles.** 2 beaux volumes contenant 240 planches in-fol. 160 fr.

CHALLETON DE BRUGHAT. **Des Armes à feu se chargeant par la culasse.** 1 vol. in-8 jésus. 2 fr. 50

CHAMPION (P.). **La Dynamite et la Nitroglycérine.** 1 vol. in-18 jésus, avec de nombreuses gravures sur bois. 4 fr.

CHAMPOLLION-FIGEAC. **Le Palais de Fontainebleau.** 1 très-beau vol. de texte in-folio de l'Imprimerie nationale et 1 atlas de 32 pl. 150 fr.

Chronique de l'industrie, journal hebdomadaire illustré. 1 an 30 fr. 6 mois 16 fr. 3 mois 9 fr.

CIALDI (A.). **Les Ports-Chenaux et Port Saïd.** 1 volume in-8 avec fig. et 2 planches. 6 fr.

CLERMONT-GANNEAU. **La Stèle de Dhiban ou Stèle de Mesa.** 1 brochure in-4. 5 fr.

CLEUZIOU (H. du). **De la poterie gauloise.** 1 beau volume grand in-8, orné de plus de 200 gravures sur bois. 12 fr.

CLUYSENAAR. **Bâtiments de stations.** In-4, avec 33 planches en couleur cart. 30 fr.

COCKERIL. (**Portefeuille de John**), **description des machines.** 2 forts volumes grand in-4 et atlas in-fol. 200 planches. 200 fr.

—— (**Portefeuille de John**), Nouvelle série. Se publie en 5 livraisons composées chacune de 20 planches et de 10 feuilles de texte. Prix de la livraison. 20 fr

Constructionen und Entwürfe aus dem gebiete des Maschinenbaues. 42 pl. grand in-folio oblong. 20 fr.

COTELLE. **Législation française des chemins de fer et de la télégraphie électrique.** 2 vol. in-8. 16 fr.

COUAILHAC. **Fers et aciers.** 1 vol. in-18. 4 fr.

DAMOURETTE. **Matériel des industries du cuir.** 1 vol. in-8. 5 fr.

DAXHELET. **Cours de chimie inorganique.** 2 vol. grand in-8 avec 10 pl. et de nombreux tableaux. 16 fr.

DECLOUX et DOURY. **Collection des plus belles compositions de Lepautre.** 1 vol. de 100 pl. in-folio relié. 60 fr.

DELFORGE. **Traité des constructions rurales.** 1 vol. in-folio contenant 32 pl. en couleur, avec un texte et des tableaux importants. 40 fr.

DENFER. **Album de serrurerie.** Grand in-4, contenant 100 planches broché. 13 fr.

DESJARDINS. **Tableau de la guerre des Allemands dans le département de Seine-et-Oise,** 1870-71. 1 vol. in-8 avec une carte. 3 fr.

DEVILLEZ. **Théorie générale des machines à vapeur.** 1 vol. et 1 atlas in-8. 18 fr.

DEWALQUE. **Atlas de cristallographie.** 24 planches avec texte. 4 fr.

Dianémomètre ou appareil à mesurer les distributions de vapeur. Prix du dianémomètre et de sa brochure. 15 fr.

DUMONT. **Carte géologique de l'Europe.** 4 feuilles grand-aigle tirées en couleur à l'Imprimerie nationale.
Prix en feuilles. 65 fr.
Collée sur toile et en étui. 75 fr.
Sur toile, montée sur rouleaux et vernie. 80 fr.

—— **Sa vie et ses travaux.** 1 vol. in-8. 4 fr.

DUPLESSIS. **Traité du levé des plans et de l'arpentage.** 1 vol. in-8 avec 105 figures dans le texte. 4 fr.

DUVILLERS. **Les Parcs et jardins.** 1 beau vol. in-folio de 40 planches avec texte. 100 fr.

DWELSHAUVERS. **Manuel de mécanique appliquée.** 1 vol. in-8 avec 12 planches. 5 fr.

ERMEL. **Album des éléments et organes de machines.** Atlas de 19 pages de texte et 102 planches de dessins, broché. 13 fr.

EVRARD. **Les Moyens de transport appliqués dans les mines, les usines et les travaux publics.** 2 vol. in-8 et 1 atlas de 125 planches in-folio. 100 fr.

FARCOT. **Servo-moteur ou moteur asservi.** 1 vol. in-8 avec 37 planches. 4 fr.

FAYN. **André Dumont.** 1 vol. in-8. 4 fr.

FÉTIS. **Traité théorique des procédés métallurgiques de grillage.** 1 vol. in-8 avec planches. 12 fr.

FLACHAT. **De la Traversée des Alpes.** In 8 avec 4 planches. 5 fr.

FLACHAT. **Navigation à vapeur transocéanienne. Etudes scientifiques.** 2 vol. in-8 et 1 atlas de 50 planches. 24 fr.

FONTAINE (A.) et BUQUET (H.). **Revue industrielle.** (Voyez *Revue.*)

FRANQUOY. **Des Progrès de la fabrication du fer.** 1 vol. in-8. 3 fr. 50

—— **De la fabrication des combustibles agglomérés.** 1 vol. in-8 avec 6 planches. 3 fr. 50

—— **Nouveau Système de Fahrkunsts.** Brochure in-8 et 2 planches in-4. 2 fr.

GADRIOT. **L'Ouvrier menuisier.** 1 atlas de 90 planches grand in-folio et 1 vol. in-8 de texte. Prix, Paris. 35 fr.
Départements. 37 fr.

GAILHABAUD. **Les Monuments anciens et modernes.** 4 vol. in-4, renfermant 400 planches gravées et texte. 300 fr.

GAND. **Cours de tissage.** Tome Ier, 1 gros vol. grand in-8, avec 30 planches, 8 tableaux et 150 fig, dans le texte. 20 fr.

—— et SÉE. **Traité complet de la coupe longitudinale des velours,** (1765 à 1865). 24 pl. 40 figures intercalées dans le texte et divers tableaux synoptiques, 188 pages. 12 fr.

—— **Le Transpositeur.** Ouvrage orné de 3 planches, 30 figures sur pierre et sur bois. 3 fr.

—— **Stratagème de tissage.** Brochure in-8. 1 fr.

GÉRONDEAU. **Notice sur l'agglomération des charbons menus.** 1 vol. in-8 avec planches. 4 fr.

—— **Note sur les machines à gaz.** 1 vol. in-8 avec pl. 4 fr.

GILLON. **Cours de métallurgie générale.** 1 vol. grand in-8 avec atlas de 12 planches. 8 fr.
Voir aussi LESOINNE et A. GILLON. **Cours de métallurgie.**

GISLAIN. **Du Fer et du charbon à Épinac-Autun et environs.** 1 vol. in-8 avec planches. 3 fr.

GLEPIN. **De l'Établissement des puits de mines dans les terrains ébouleux et aquifères.** 1 vol. in-8 avec 1 atlas de 16 pl. grand in-4 dont plusieurs doubles. 25 fr.

GLŒSENER. **Traité général des applications de l'électricité.** En vente tome Ier, 1 vol. in-8, avec 18 planches. 15 fr.

Glossaire des termes techniques d'architecture gothique. 1 volume in-12. 2 fr.

GOSCHLER. **Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer.** 4 gros vol. in-8, avec de nombreuses gravures dans le texte et 1 atlas in-8 de 35 planches; nouvelle édition. En vente les tomes I et II avec l'atlas. Service de la voie. 32 fr.
Les tomes III et IV sont sous presse.

GRATEAU. **Mémoire sur la fabrication de l'acier fondu.** In-8, avec planches. 2 fr. 50

—— **L'École des mines de Paris.** Brochure in-8. 1 fr.

GUETTIER. **De l'Organisation de l'enseignement industriel.** 1 volume in-8. 4 fr.

GUETTIER. **Histoire des Écoles d'arts et métiers.** 1 vol. in-8. 6 fr.

GUILMARD. **Album du menuisier parisien.** 1 volume in-4 contenant 96 planches. 40 fr.

—— **Le Menuisier moderne.** 1 vol. grand in-4 contenant 24 pl. 15 fr.

—— **La Décoration au XIXe siècle.** 1 vol. in-fol. contenant 48 pl. 60 fr.

—— **Histoire de l'ornement.** 1 volume in-4 contenant 42 planches et texte. 25 fr.

HART. **Die Werkzeugmaschinen für den Maschinenbau.** 72 planches in-folio et 1 vol. de texte in-8. Nouvelle édition 1872. 60 fr.

HAVREZ. **Principes de chimie unitaire.** In-8. 3 fr.

HEDLEY (John). **Traité pratique de l'exploitation des mines de houille.** 1 vol. in-8, 104 pages et 16 planches. 8 fr.

HERLANT. **Précis du cours de chimie usuelle.** 1 vol. in-12. 7 fr.

HERMANN. **Résumé et Exercices d'algèbre élémentaire.** 1 volume in-8. 3 fr.

HOFFSTADT. **Principes du style gothique.** 1 vol. in-8 de texte, avec 1 atlas in-folio de 40 planches. 30 fr.

HUIN. **Théorie et Description des régulateurs isochrones.** 1 br. in-8, avec 4 gr. planches. 3 fr.

JOLY. **Traité pratique du chauffage, de la ventilation et de la distribution des eaux.** 1 vol. in-8 avec 156 gravures dans le texte (Épuisé.)

L'auteur prépare en ce moment une 2e édition considérablement augmentée.

JORDAN. **Cours de métallurgie.** 1 vol. in-8 avec un atlas in-folio de 140 planches. 80 fr.

—— **État actuel de la métallurgie du fer.** In-8 avec pl. 5 fr.

JUBÉ. **Exercices de géométrie analytique.** In-8 avec 12 planches gravées. 4 fr.

JULLIEN. **Traité théorique et pratique de la métallurgie du fer.** 1 vol. in-4 avec atlas de 52 planches. 36 fr.

—— **Annexes au traité de la métallurgie du fer.** 7e mémoire in-4. 3 fr.

—— **Traité théorique et pratique de la construction des machines à vapeur.** 2e édition, 1 vol. in-4, 583 pages avec bois dans le texte et atlas de 48 pl. doubles. 35 fr.

KONINCK (de) et DIETZ. **Manuel pratique d'analyse chimique.** 1 vol. in-8 avec planches. 4 fr.

KRAFFT. **Roue hydraulique à aubes courbes.** In-4 avec 3 pl. 3 fr. 50

LACROIX. **Les Arts au moyen âge et à l'époque de la renaissance.** Ouvrage illustré de 19 chromolithographies et de 420 gravures sur bois. 1 vol. in-4 broché. 25 fr.

Relié, dos chagrin, plat toile, tr. dorée. 33 fr.

Relié dos et coins chagrin, plat papier, entête dorée, les autres tranches ébarbées. 33 fr.

LACROIX (P.). **Mœurs, usages et costumes au moyen âge et à l'époque de la renaissance.** Illustré de 15 pl. chromolithographiques et de 440 gravures sur bois, 1 vol. in-4, broché. 25 fr.
Relié dos chagrin, plat toile, tr. dorée. 33 fr.
Relié dos et coins chagrin, plat papier, entête dorée les autres planches ébarbées. 33 fr.

LA GOURNERIE (J. de). **Mémoire sur l'appareil de l'arche biaise.** 1 brochure in-8. 2 fr.

LAMPUÉ. **Concours d'architecture.**
1re série, 1 vol. in-fol. contenant 45 photographies. 70 fr.
2e — 1 vol. in-fol. contenant 40 — 70 fr.

—— **Fragments d'architecture antique.** 1 vol. in-folio contenant 44 photographies. 70 fr.

—— **Le Palais de justice de Paris.** 20 très-grandes photographies d'après nature. 80 fr.

LATOUR et GASSEND. **Travaux hydrauliques maritimes.** 1 vol. de texte in-4 et 1 atlas gr. in-fol. contenant 55 pl. en couleur. 100 fr.

LAUREYS. **Cours classique d'architecture.** 1 atlas de 70 planches in-fol. et 1 vol. de texte in-8. 30 fr.

LEGRAND. **Les Ponts de Billancourt.** 1 volume in-4 avec 5 planches in-folio. 10 fr.

LEJEUNE. **Traité pratique de la coupe des pierres.** 1 vol. de texte in-8 de 600 pages et 1 atlas in-4 de 59 pl. contenant 381 fig. 40 fr.

LEPAUTRE. **Collection de ses plus belles compositions.** 100 planches in-folio, relié. 60 fr.

LE ROY. Voyez **Glossaire des termes techniques d'architecture gothique.**

LESOINNE et GILLON. **Cours de métallurgie générale.** 1 vol. in-8 et atlas in-8. 12 fr.
Voir GILLON. **Cours de métallurgie.**

LIÉNARD. **Spécimen de la décoration et de l'ornementation au XIXe siècle.** 1 vol. in-folio de 125 planches. 125 fr.

LIÈVRE. **Collection Sauvageot.** 120 planches in-folio et texte descriptif et explicatif. 180 fr.

LOIGNON (S.). **Ponts biais.** 1 vol. in-8 et atlas in-4 de 14 planches dont plusieurs doubles. 10 fr.

LOYAU (A.). **Album de charpentes en bois.** Atlas in-4 de 120 pl. 25 fr.

MALHERBE. **De l'Assainissement des villes.** 1 vol. in-8 avec 5 pl. 4 fr.

MALHERBE (Renier). **De l'Exploitation de la houille dans le pays de Liége.** In-8. 6 fr.

—— **Du Grisou.** 1 vol. in-8. 4 fr.

MARÉCHAL. **Notice sur l'emploi de l'air comprimé.** In-8 avec 12 planches. 8 fr.

MARLIN. **Examen comparatif de la fabrication des produits chimiques.** 1 vol. in-8, planches. 4 fr.

MARY. **Cours de routes et ponts.** 1 vol. in-4 avec atlas de 68 planches in-folio. 45 fr.

MASSE. **Du Traitement industriel des plantes filamenteuses.** 1 vol. in-8, avec échantillons de matières. 1 fr. 75

MAUCORPS. **Annuaire de la propriété foncière de Paris et de la banlieue.**

1er volume	1867, in-18.		2 fr.
2e —	1868, in-18.		2 fr.
3e —	1869, in-18.		2 fr.
4e —	1870, in-18.		2 fr.

MÉNÉTRIER. **Éléments de géométrie descriptive.** 2e édition, 2 vol. in-8, texte et atlas. 12 fr.

METZMACKER. **Portefeuille historique de l'ornement.** 1 vol. grand in-folio composé de 32 planches gravées et imprimées sur papier de Chine. 32 fr.

MŒRMANN. **La Ramie.** 1 vol. grand in-8. 2 fr.

Monuments architectoniques de l'Espagne. Paraît par livraisons contenant chacune 4 planches sur papier grand-aigle avec deux feuilles de texte même format. Prix de la livraison. 26 fr.

37 livraisons ont paru.

MORIN. **Appareils de chauffage et de ventilation.**

Ce mémoire a paru dans le nº 21 des **Annales du Conservatoire des arts et métiers.** Prix du numéro. 5 fr.

—— **Note sur les moyens à employer pour rafraîchir l'air dans les édifices publics ou privés.**

Ce mémoire a paru dans le nº 22 des **Annales du Conservatoire des arts et métiers.** Prix du numéro. 5 fr.

—— **Note sur les cheminées ventilatrices.**

Ce mémoire a paru dans le nº 23 des **Annales du Conservatoire des arts et métiers.** Prix du numéro. 5 fr.

—— **Note sur les appareils de chauffage.**

Ce mémoire a paru dans le nº 24 des **Annales du Conservatoire des arts et métiers.** Prix du numéro. 5 fr.

—— **Des Appareils à employer pour le contrôle des services de ventilation.**

Ce mémoire a paru dans le nº 26 des **Annales du Conservatoire des arts et métiers.** Prix du numéro. 5 fr.

Motifs de décoration extérieure et intérieure. 120 planches grand in-4 jésus. 80 fr.

NORMAN TATE. **Du Pétrole et de ses dérivés.** 1 broch. in-8. 2 fr. 50

Nouvelles Maisons de campagne avec plans, Paris et ses environs. 100 pl. imprimées en couleur. 100 fr.

NOYER. **Tables de législation.** 1 vol in-8. 6 fr. 35

OPPERMANN. **Visites d'un ingénieur à l'Exposition universelle de 1867.** 1 gros vol. grand in-8, accompagné de gravures sur bois et atlas de 30 planches doubles, 2e édition. 18 fr.

ORDINAIRE DE LACOLLONGE. **Recherches historiques et expérimentales sur le moteur à pression d'eau de F.-E. Perret.**
Ce mémoire a paru dans le n° 24 des **Annales du Conservatoire des arts et métiers.** Prix du numéro. 5 fr.

Organ für die Fortschritte des Eisenbalmwesens.
Prix de l'abonnement annuel. 28 fr.

PAQUE. **Arithmétique.** 1 vol. in-8. 4 fr. 50

PAYEN. **Fabrication du papier. Succédanès des chiffons. Cellulose extraite en grand des fibres ligneuses.**
Ce mémoire a paru dans le n° 27 des **Annales du Conservatoire des arts et métiers.** Prix du numéro. 5 fr.

PÉRARD. **Traité du chauffage et de la conduite des machines à vapeur.** 1 vol. grand in-18 avec 15 planches. 10 fr.

PERCY. **Traité complet de métallurgie.** 5 vol. grand in-8 avec de nombreuses gravures.
Prix de chaque volume :
Pour les souscripteurs à tout l'ouvrage. 15 fr.
Chaque volume se vend séparément. 18 fr.

PETITGAND. **Exploitation et traitement des plombs.** 1 vol. in-8 avec planches. 4 fr.

—— et RONNA. **Traité complet de métallurgie**. (Voyez PERCY.)

PETROW (Constantin). **Tableau de la littérature russe.** 1 vol. in-8. 6 fr.

PFNOR. **Ornementation usuelle.** 2 vol. in-8, contenant 144 planches et texte. 35 fr.

—— **Monographie du château d'Anet.** 1 magnifique volume in-folio contenant 60 planches gravées sur acier dont deux en couleur et 24 gravures dans le texte. 150 fr.

PLACE. **Ninive et l'Assyrie.** 3 vol. grand in-folio colombier dont 2 vol. de texte et 1 magnifique atlas de planches, 14 de ces planches sont imprimées en couleur. 850 fr.
Il n'a été tiré que 100 exemplaires pour le commerce.

PLATTNER. **Traité théorique des procédés métallurgiques de grillage.** 1 vol. in-8 et 6 pl. in-4. 12 fr

PONSON. **Traité de l'exploitation des mines de houille.** 4 gros vol. in-8 et 1 atlas de 80 pl. 2e édition. 72 fr.

—— **Supplément au traité de l'exploitation des mines de houille.** 2 gros vol. in-8 et 1 atlas de 68 pl. in-folio. 60 fr.

Portefeuille de John Cockerill. (Voyez COCKERILL.)

POULOT et FONTAINE. **Machines à fabriquer les rivets.** 1 brochure grand in-8 avec figures. 2 fr.

PRIGNOT. **L'Architecture, la Décoration et l'Ameublement.** Cet ouvrage paraît en 20 livraisons de 3 planches photographiées. Prix de la livraison. 7 fr. 50

PRUD'HOMME (L.). **Cours pratique de construction.** 2 vol. in-8 accompagnés de 330 figures dans le texte. 15 fr.

PUGIN. **Types d'architecture gothique.** 3 vol. grand in-4, ensemble 283 pages et 210 planches. 120 fr.

—— **Antiquités architecturales de la Normandie.** 1 vol. grand in-4 avec 80 planches. 40 fr.

—— **Motifs et détails choisis d'architecture gothique.** 2 vol. in-4 avec 120 planches. 80 fr.

—— **Modèles d'ameublement.** 1 vol. grand in-4 de 24 pl. 8 fr.

—— **Modèles de ferronnerie.** 1 vol. grand in-4 de 27 pl. 8 fr.

—— **Modèles d'orfévrerie.** 1 vol. grand in-4 de 27 pl. 8 fr.

—— **Glossaires des termes techniques d'architecture.** (Voyez GLOSSAIRE.)

RACINET. **L'Ornement polychrôme.** 1 vol. in-folio contenant 100 pl. avec texte. 150 fr.

RAMBERT. **L'Art dans l'industrie.** 1 vol. in-4 de 50 pl. 30 fr.

RAMÉE. **L'Architecture et la Construction pratique.** 1 vol. petit in-8, 541 figures sur bois. 6 fr.

—— **Dictionnaire général des termes d'architecture.** 1 vol. in-8. 8 fr.

REDTENBACHER. **Principes de la construction des organes des machines.** 1 vol. grand in-8 et atlas de 45 pl. 20 fr.

—— **Résultats scientifiques et pratiques destinés à la construction des machines.** 1 beau vol. grand in-8 avec 41 planches et de nombreux tableaux. 15 fr.

—— **Die Bewegungs-Mechanismen.** 80 pl. in-folio avec texte. 45 fr.

Revue industrielle 12 numéros de 48 pages par an.

Abonnement pour une année.

Paris et départements. 12 fr.
Etranger. 15 fr.
Les années parues se vendent brochées. 15 fr.

REY. **L'Huile de pétrole.** In-18. 2 fr. 50

RONDELET. **Traité théorique et pratique de l'art de bâtir.** 5 vol. grand in-4 de texte, avec atlas in-folio contenant 210 pl. 125 fr.

—— **Supplément au traité théorique et pratique de l'art de bâtir** 2 vol. in-4 de texte avec atlas in-folio de 100 pl. 60 fr.

RONGÉ. **De la Fabrication de la tôle en Belgique.** In-8 avec 3 pl. 5 fr.

RONNA. **État actuel de la métallurgie du plomb en Angleterre.** 1 vol. in-8 avec 5 planches. 5 fr.

ROUYER. **L'Art architectural.** 2 magnifiques vol. grand in-4, contenant 200 planches et texte. 200 fr.

ROUYER. **Les Appartements privés de l'Impératrice aux Tuileries.** 1 vol. in-folio contenant 20 planches imprimées sur papier de Chine. Prix en carton. 50 fr.

Il a été tiré quelques exemplaires sur plus grand papier. Prix en carton. 60 fr.

SAGERET. **Du Progrès maritime.** 1 vol. grand in-8 de 400 pages avec notes et tableaux. 8 fr.

Sammlung ausgefürhter constructionen Schmiedeiserner Brücken. 60 planches grand in-folio oblong. 35 fr.

SARTON. **Des Échelles mobiles dites Fahrkunst.** 1 broch. in-8. 50 c.

SAUVAGEOT. (Voyez LIÈVRE.)

SCHEPP. **Die Haupttheile der Locomotiv-Dampfmaschinen.** 1 vol. in-8 et 1 atlas de 16 planches in-folio. 12 fr.

SCHINZ. **Documents concernant le haut-fourneau.** 1 vol. grand in-8 avec planches. 6 fr. 50

SCHMITZ (Frantz). **Der Dom zu Coeln. (La Cathédrale de Cologne.)** 1 magnifique volume grand in-folio publié en 25 livraisons de 6 pl. Prix de la livraison. 7 fr. 50

SCHMOLL. **Traité pratique des brevets d'invention.** 1 vol. in-8. 7 fr. 50

SCHOY (Aug.). **L'Art architectural.** 2 vol. in-folio publiés en 7 livraisons dont 5 de 50 planches et 2 de 25 seulement, mais avec texte. Prix de la livraison en carton. 25 fr.

Aucune livraison ne se vend séparément.

SIMONIN. **La Richesse minérale en France.** In-8. 2 fr. 50

SPINEUX. **De la distribution de la vapeur dans les machines.** 1 vol. grand in-8 et 1 atlas grand in-8 de 26 planches doubles. 15 fr.

STAAFF. **La Littérature française.** 6 vol. grand in-8. 3520 pages, 4[e] édition. 25 fr.

STATZ. **Recueil d'Églises et de constructions religieuses dans le style gothique.** 72 planches très-grand in-folio avec texte. 75 fr.

—— **Détails gothiques.** 2 vol. in-4 contenant 120 planches simples et 60 planches doubles. 132 fr.

TRESCA. **Mémoire sur l'écoulement des corps solides.**

Ce mémoire a paru dans le n° 21 des **Annales du Conservatoire des arts et métiers.** Prix du numéro. 5 fr.

—— **Machines de traction,** de M. Lotz aîné, de Nantes.

Ce mémoire a paru dans le n° 27 des **Annales du Conservatoire des arts et métiers.** Prix du numéro. 5 fr.

—— et CH. LABOULAYE. **Recherches expérimentales sur l'équivalent mécanique de la chaleur.**

Ce mémoire a paru dans le n° 23 des **Annales du Conservatoire des arts et métiers.** Prix du numéro. 5 fr.

TRONQUOIS. **Bâtiments pittoresques.** 20 planches in-plano. 20 fr.

UMÉ. **L'Art décoratif.** 120 planches in-folio. 60 fr.

URBIN. **Guide pratique pour le puddlage du fer et de l'acier.** 1 vol. in-8. 2 fr.

V***. **Les Machines d'épuisement à rotation.** In-8 avec pl. 2 fr.

VIDAL. **Législation des machines à vapeur.** 1 vol. in-18. 1 fr. 50

VIERSET-GODIN. **Église de Notre-Dame, à Huy.** Grand in-folio de 20 planches, la plupart en couleurs, avec texte. 25 fr.

VINET (Ernest). **Bibliographie des beaux-arts.** 1 vol. grand in-8, divisé en 4 fascicules.
Le 1er fascicule paraîtra en 1873.

VOGUÉ (le comte Melchior de). **Le Temple de Jérusalem.** 1 vol. in-folio avec gravures sur bois et 40 planches dont 15 en couleur. 100 fr.

—— **L'Architecture civile et religieuse du Ier au VIIe siècle dans la Syrie centrale.** 2 vol. grand in-4, contenant 150 planches gravées. 150 fr.

—— **Inscriptions sémitiques de la Syrie centrale.** 1 vol. grand in-4 jésus, avec 21 planches. 30 fr.

—— **Mélanges d'archéologie orientale.** 1 vol. in-8 avec figures sur bois intercalées dans le texte et 12 planches. 15 fr.

—— **La Stèle de Dhiban ou Stèle de Mésa.** 1 brochure in-4 avec 2 planches. 5 fr.

WINCKLER. **Guide de l'Architecte et de l'Ingénieur à Vienne.** 1 vol. in-8, avec gravures, le plan de la ville, le plan de l'Exposition et une carte géologique. 9 fr.

WITH (Émile). **Les Machines.** 2 beaux vol. in-8 cavalier avec 450 figures dans le texte. 16 fr.

—— **Les Inventeurs et leurs inventions.** 1 vol. in-12. 4 fr.

WOJCIECHOWSKI. **Nouvelle Méthode pour le calcul exact des aires de déblai et remblai.** 1 vol. in-12 avec pl. 1 fr. 50

YVERT (L.). **Notices sur les ponts avec poutres tubulaires en tôle.** In-8 et atlas grand in-fol. de 20 planches et 4 tableaux. 15 fr.

Paris. — Imprimerie de Georges Chamerot, rue des Saints-Pères 19.

